

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Výroba elektrické energie pomocí kogeneračních jednotek
Electricity production by means of combined heat and power unit

2009/2010

Bc. Roman Vágner

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Roman Vágner**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Výroba elektrické energie pomocí kogeneračních jednotek**
Electricity production by means of combined heat and power unit

Zásady pro vypracování:

V diplomové práci zpracujte následující problematiku:

- o Základní princip a rozdělení kogeneračních jednotek.
- o Výběr vhodného paliva pro kogenerační jednotky.
- o Možné způsoby připojení zdroje na síť.
- o Legislativní rámec - podmínky pro připojení.
- o Údržba a servis kogeneračních jednotek.
- o Metodika pro optimální výběr jednotky podle typu odběratele.
- o Ekonomická kalkulace pro výrobu elektrické energie, zjednodušený výpočet návratnosti.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- o Brauner J., Šindler Z.: Elektrická část elektráren, VŠB Ostrava, Ostrava 1987
- o PPDS, PPS, vyhláška 51/2006
- o Firemní prospekty a dokumentace firmy Tedom s.r.o.
- o Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek - publikace ČEA
- o Hospodárné využití a výroba energie vedoucí ke snižování zátěže život. prostředí - publikace ČEA
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 9.7.2010

.....
Roman Vágner

Rád bych poděkoval Ing. Miroslavovi Růžičkovi a Doc. Ing. Radomírovi Goňovi, Ph.D. za jejich odborné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této diplomové práce.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá přehledem o technologiích výroby elektrické energie pomocí kogeneračních jednotek. Podává nám informace o principu kogenerační jednotky, o základních typech, rozdělení a základních technických parametrech kogeneračních jednotek. Blíže specifikovány jsou jednotky využívající spalovacího plynového motoru, který spaluje zemní plyn či bioplyn. Zavádíme zde i podmínky, za kterých lze kogenerační jednotku připojit k síti, podmínky pro připojení k distribuční síti a následné vyvedení elektrické energie a dodávku do sítě. Závěr této práce se zabývá náklady na pořízení kogenerační jednotky se spalovacím plynovým motorem, náklady na palivo, ale také uvádí výkupní ceny vyrobené elektrické energie. Je zde také uveden zjednodušený výpočet návratnosti vložených investic.

Klíčová slova:

Kogenerace; kogenerační jednotka; elektrická energie; teplo; plynový spalovací motor; elektrická účinnost; soustrojí; zemní plyn; bioplyn; metan; generátor; ostrovní provoz; rozvodna; rozvaděč; elektrické ochrany; vlivy na síť; distribuční síť; servis a údržba; výkupní cena elektrické energie.

Abstract:

This dissertation deals overview about the technologies of electricity production by a unit for combined heat and power (CHP). It provides informations of CHP unit principle, the basic types, distribution and basic technical parametrs of CHP unit. Unit using internal combustion gas engine, which burns a natural gas or biogas are characterized here. This work contains conditions for connection CHP to the network and conditions for connection to the distribution grid and energy supply to the grid. The conclusion of this work deals with the capex for CHP with an internal combustion gas engine, fuel cost, also stated purchase price of electric power production. A simplified calculation of return on investment is given here.

Key words:

Combined heat and power (CHP); CHP unit; electric power; heat; gas combustion engine; electrical efficiency; aggregate; combustion exhaust gas; natural gas; biogas; methane; generátor; island (in a power system); substation; schwitchboard; electrical protection; effect on network; distribution network; servise and maintenance; purchase price of electric power.

Seznam použitých symbolů a zkratk:

η	[-]	elektrická účinnost
$\cos \varphi$	[-]	elektrický účinník
C_{servis}	[Kč/kWh]	cena na zajištění servisu kogenerační jednotky
$C_{\text{sil.el.}}$	[Kč/kWh]	výkupní cena silové elektrické energie
C_{DS}	[Kč/kWh]	příspěvek od distribuční soustavy za necentrální výrobu elektrické energie
C_{KVET}	[Kč/kWh]	příspěvek na kogeneraci
C_{ZP}	[Kč/kWh]	cena zemního plynu na 1 kWh
C_{ZPm^3}	[Kč/m ³]	cena zemního plynu na m ³
ČEZ		energetická společnost v ČR
e	[-]	teplárenský modul výroby elektrické energie
EON		energetická společnost v ČR
ERÚ		energetický regulační úřad
I_C	[Kč]	celkové investice do pořízení a připojení kogenerační jednotky
I_{KJ}	[Kč]	investice do pořízení kogenerační jednotky
I_m	[A]	jmenovitý proud
I_P	[Kč]	investice do připojení kogenerační jednotky
KVET		kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
k_{ZP}	[-]	konstanta pro přepočet ceny zemního plynu z Kč/kWh na cenu v Kč/m ³
MPO		Ministerstvo průmyslu a obchodu v ČR
N	[rok]	prostá návratnost vložených investic
N_C	[Kč/hod]	celkové náklady na 1 hodinu provozu kogenerační jednotky
N_{GJ}	[Kč/GJ]	cena 1 GJ tepla z paliva
N_{kWh}	[Kč/kWh]	náklady na výrobu 1 kWh bez využití tepla
$N_{\text{kWh+Q}}$	[Kč/kWh]	náklady na výrobu 1 kWh s využitím tepla
N_P	[Kč/hod]	náklady na palivo na 1 hodinu provozu kogenerační jednotky
N_Q	[Kč]	cena vyrobeného tepla
N_S	[Kč/hod]	náklady na servis kogenerační jednotky na 1 hodinu provozu
OTE		Operátor trhu s elektrickou energií
P	[Pa]	absolutní tlak plynu (tj. součet změřeného barometrického tlaku a přetlaku plynu)
P_{el}	[W]	elektrický výkon
P_F	[Pa]	hodnota fakturačního tlaku plynu
P_n	[W]	jmenovitý výkon
P_{tep}	[kW]	tepelný výkon
PRE		Pražská energetika
Q	[GJ]	vyrobené teplo z kogenerační jednotky
Q_{paliva}	[GJ]	tepelný příkon přiváděný v palivu
Q_{rok}	[GJ]	roční produkce tepla
Q_{tep}	[GJ]	výkon v teple z kombinované výroby
Q_{vstup}	[GJ]	tepelná energie paliva vstupujícího do tepelného zdroje
$Q_{\text{výstup}}$	[GJ]	vyrobená tepelná energie na výstupu z tepelného zdroje
RÚT		registrovaný účastník trhu
S_{ZP}	[m ³ /hod]	spotřeba plynu za 1 hodinu při 100 % výkonu kogenerační jednotky
S_{ZProk}	[m ³ /rok]	roční spotřeba zemního plynu
T	[°C]	změřená teplota plynu
T_F	[°C]	fakturační teplota plynu
U_n	[V]	jmenovité napětí
V	[m ³ /hod]	odečtená spotřeba plynu z plynoměru
V_F	[m ³ /hod]	spotřeba plynu za fakturačních podmínek
W_{rok}	[kWh/rok]	roční výroba elektrické energie z kogenerační jednotky za 1 rok
Z_{kWh}	[Kč/kWh]	úspora nákladů na 1 kWh
Z_{rok}	[Kč]	roční úspora nákladů

Obsah:

Úvod.....	7
1. Základní princip a rozdělení kogeneračních jednotek.....	8
1.1. Pojem kogenerace.....	8
1.2. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla.....	8
1.3. Rozdělení kogenerace.....	11
1.4. Princip a provedení kogeneračních zdrojů	15
1.4.1. Plynová kogenerace.....	15
1.4.2. Parní kogenerace.....	18
1.4.3. Paroplynová kogenerace.....	20
1.5. Historie výroby kogeneračních jednotek.....	21
2. Výběr vhodného paliva pro kogenerační jednotky.....	22
2.1. Plynová trasa kogenerační jednotky.....	22
2.2. Vlastnosti přívodu plynu.....	23
2.3. Plyny metanové.....	24
2.3.1. Zemní plyn.....	24
2.3.2. Bioplyn.....	25
2.4. Plyny na základě vyšších uhlovodíků.....	27
3. Možné způsoby připojení zdroje na síť.....	27
3.1. Druhy provozu kogenerační jednotky.....	27
3.2. Vlivy připojování kogenerační jednotky na síť.....	31
3.3. Elektrické ochrany kogenerační jednotky.....	33
3.4. Rozvaděč kogenerační jednotky.....	34
4. Legislativní rámec – podmínky pro připojení.....	35
4.1. Legislativní podmínky.....	35
4.2. Seznam zákonů a vyhlášek.....	37
5. Údržba a servis kogeneračních jednotek.....	38
5.1. Instalace kogenerační jednotky.....	38
5.2. Zajišťování servisu kogenerační jednotky.....	38
5.3. Trvalý provoz kogenerační jednotky.....	40
5.4. Běžná údržba kogenerační jednotky.....	40
6. Metodika pro optimální výběr jednotky podle typu odběratele.....	41
6.1. Analýza energetického hospodaření komplexu.....	42
6.2. Specifikace kogenerační jednotky.....	42
6.3. Analýza provozu kogenerační jednotky.....	43
6.4. Volba druhu, dimenzování a řízení kogenerační jednotky.....	43
6.5. Příklady instalace kogenerační jednotky do různých komplexů.....	44
6.5.1. Veřejné zdroje.....	45
6.5.2. Průmysl.....	46
6.5.3. Terciální sféra.....	49
7. Ekonomická kalkulace pro výrobu elektrické energie, zjednodušený výpočet návratnosti.....	51
7.1. Výkupní ceny elektrické energie.....	51
7.2. Zjednodušený výpočet návratnosti investic.....	52
Závěr.....	56
Použitá literatura a odkazy.....	57

Úvod

Kogenerace (kombinovaná výroba elektrické energie a tepla) je relativně nový pojem, v poslední době velmi frekventovaný i ve veřejnosti, který označuje všeobecně známý princip teplárenství, jež má v České republice dlouholetou tradici. Jedná se o kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla a o centralizované zásobování teplem. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla má jednoznačné výhody, které budou postupně popsány v následujících kapitolách.

Bude vysvětlen základní princip kogeneračních jednotek, bude provedeno rozdělení podle technologie, použitého paliva a také krátce nahlédnuto do historie výroby elektrické energie pomocí kogeneračních jednotek. Podle zvoleného druhu provozu budou uváděny vlivy a účinky kogenerační jednotky na distribuční síť, s tím související podmínky distribuční soustavy pro připojení a vyvedení elektrického výkonu do sítě.

Jako každé zařízení i kogenerační jednotky musí absolvovat pravidelnou údržbu a servis, kterým pak lze docílit stabilnějšího běhu či předcházení vážných poruch, které pak mohou mít za následek delší odstávky na odstranění poruchy.

Podle hospodaření komplexu, kde se má umístit a dimenzovat kogenerační jednotka, musí být provedena analýza provozu na základě celoročního diagramu a podle toho pak bude také zvolena i kogenerační jednotka.

V závěru této práce bude vypočtena prostá návratnost vložených investic. Bude provedeno srovnání výkupních cen elektrické energie pro jednotlivé výkony kogeneračních jednotek a použitého druhu paliva nebo také pro jednotlivé doby provozu kogenerační jednotky.

1. Základní princip a rozdělení kogeneračních jednotek

1.1. Pojem kogenerace

Nový pojem „kogenerace“ přichází současně s inovační vlnou technologického zařízení tepláren, která je způsobena masovým vytlačováním tuhých paliv ze spotřeby energie rozvojem plynofikace.

V užším smyslu je tedy třeba pojem kogenerace chápat jako moderní energetické zdroje, produkující současně elektrickou energii i teplo spalováním zejména zemního plynu (i když přicházejí v úvahu i jiná paliva včetně kapalných i tuhých). Kvalitativní rozdíl mezi moderními technologiemi kogenerace a klasickým teplárenským parním cyklem je ve vyšší měrné výrobě elektrické energie, tj. vyšším podílu výroby ušlechtlejší formy energie.

Jedním z charakteristických znaků kogenerace je miniaturizace zdrojů ve srovnání s tradičními teplárnami. Miniaturizace v tomto případě znamená nejen zmenšování zařízení v důsledku technického pokroku jako v jiných oborech, ale zejména možnost postavit teplárnu malého výkonu řádu stovek, ale i jen desítek kW. To pak znamená, že funkční teplárna může existovat i v malých městech, vesnicích, malých průmyslových i zemědělských provozovnách, objektech občanské vybavenosti, bytových domech a dokonce i v rodinných domcích. Technikou, která umožňuje tuto miniaturizaci v teplárenství, je zejména plynový pístový spalovací motor, plynové turbíny, v blízké budoucnosti i palivové články, deskový výměník tepla a miniaturizace elektrických strojů a přístrojů.

Tato technologie tedy přináší ve svém principu vyšší zhodnocení vloženého paliva a tím snížení emisí plyných látek do ovzduší a odpadního tepla na jednotku dodané tepelné a elektrické energie. Její konkrétní použití je však vázáno na místní podmínky (odběr elektrické energie a tepla) a závisí na finančních možnostech budoucího investora.

1.2. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla

Při zásobování distribuční sítě teplem nebo elektrickou energií je možno vycházet z toho, že se bude jednat o následující způsoby:

- samostatnou výrobu tepla
- samostatnou výrobu elektrické energie
- kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie – kogenerace

Při samostatné výrobě tepla, která je zajišťována výtopnou se jedná o tepelnou účinnost zdroje tepla definovanou vztahem:

$$\eta = \frac{Q_{\text{výstup}}}{Q_{\text{vstup}}} * 100 \quad [\%] \quad [4]$$

kde $Q_{\text{výstup}}$ je vyrobená tepelná energie na výstupu z tepelného zdroje
 Q_{vstup} je tepelná energie paliva vstupujícího do tepelného zdroje

U plynových kotlů je tato tepelná účinnost cca 92 % pokud kotel nevyužívá kondenzační teplo spalin. Při použití kondenzačního kotle je účinnost nad 100 % vzhledem k tomu, že je účinnost vztažena k výhřevnosti paliva a ne k jeho spalnému teplu, které je vyšší a zahrnuje teplo z kondenzace vodní páry ve spalinách.

Výroba elektrické energie je v České Republice doposud zajišťována převážně pomocí kondenzačních elektráren, které dosahují účinnost výroby elektrické energie v rozmezí 33 až 38 %. Hodnota účinnosti závisí mimo zmíněné účinnosti konverze paliva na teplo v kotlích, kde je významným faktorem druh paliva, především na parametrech páry, která vstupuje do turbíny a dále pak na dalších provozních a konstrukčních hodnotách. Tepelnou účinnost je možno zvýšit meziohřevem páry, použitím regeneračních ohříváků napájecí vody, atd.

Z uvedených hodnot účinností výroby tepla a elektrické energie je patrné, že výrobu tepla je možno zajistit s poměrně slušnou účinností, ale u elektrické energie je účinnost podstatně horší. Je to způsobeno tím, že převažující podíl tepla, které vstupuje do výrobního cyklu, je ztraceno v chladicí vodě. Chladicí voda zajišťuje kondenzaci páry, která vychází z turbíny a její praktické využití je nereálné s ohledem na její nízkou teplotu. Proto kondenzační teplo v chladicí vodě představuje z energetického hlediska nejvyšší tepelnou ztrátu při tomto způsobu výroby elektrické energie.

Při kombinované výrobě tepla a elektrické energie, se jedná o současnou výrobu dvou druhů energie. Energetická účinnost je pak definována vztahem:

$$\eta = \frac{P_{el} + Q_{tep}}{Q_{paliva}} * 100 \quad [\%] \quad [4]$$

kde P_{el} je elektrický výkon z kombinované výroby [kW]

Q_{tep} je výkon v teple z kombinované výroby [kW]

Q_{paliva} je tepelný příkon přiváděný v palivu [kW]

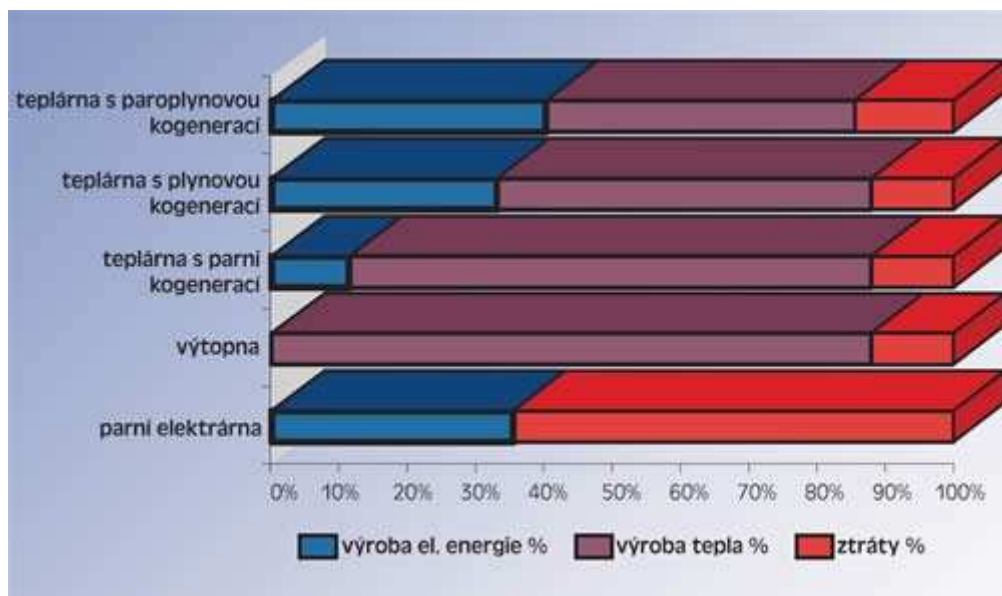
U kombinované výroby tepla a elektrické energie se používá poměr (modul teplárenské výroby elektrické energie), který udává poměr výkonu vyrobené elektrické energie k tepelnému výkonu, který je dodáván do tepelné sítě z kombinovaného zdroje. Název teplárenský modul vychází z toho, že teplárna rovněž zajišťuje kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie, a to v parním cyklu. Teplárenský modul je definován vztahem:

$$e = \frac{P_{el}}{Q_{tep}} * 100 \quad [-] \quad [4]$$

Čím je vyšší modul teplárenské výroby elektrické energie (e), tím méně elektrické energie je třeba vyrábět s nízkou účinností v kondenzační elektrárně při současné výrobě daného množství tepla, které odpovídá kombinované výrobě. Proto úspora paliva vstupujícího do kombinované výroby je vyšší.

V teplárnách a jiných kogeneračních zařízeních, kde se teplo využívá, je spotřeba neobnovitelných fosilních paliv nižší. Kromě významného faktoru decentralizace výroby elektrické energie vede použití kombinované výroby elektrické energie a tepla ke snížení ztrát v rozvodné síti a k vyšší bezpečnosti dodávek - výpadek jednoho zdroje nemá větší vliv.

Rozdělení tepla přivedeného v palivu (na výrobu elektrické energie, tepla a tepelné ztráty) v jednotlivých typech kombinované výroby elektrické energie a tepla a porovnání s oddělenou výrobou tepla je naznačeno na obrázku č. 1. Porovnání účinnosti výroby energie můžeme vidět na obrázku č. 2.



Obr. 1 - Rozdělení tepla přivedeného v palivu [8]



Obr. 2 - Porovnání účinnosti výroby energie [8]

1.3. Rozdělení kogenerace

Pro mechanický pohon elektrického generátoru je možno při kogeneraci použít:

- A) plynový spalovací motor – plynová kogenerace
- B) parní turbínu – parní kogenerace
- C) plynovou spalovací turbínu – paroplynová kogenerace

Ve výčtu uvedený možný typ hnacího agregátu bude záviset na jeho požadovaném výkonu, dostupnosti použitého paliva a požadované hodnotě modulu teplotenské výroby.

Pro přehlednost si postupně uvedeme jednotlivé typy výše uvedených technologií kogeneračních jednotek.

A. Plynová kogenerace

Je označení pro společnou výrobu elektrické energie a tepla přímým spalováním plynu ve spalovacím motoru (otevřený Ottův cyklus) nebo spalovací turbíně (otevřený Braytonův cyklus) pohánějící alternátor se současným využitím odpadního tepla z motoru nebo turbíny. Stupeň konverze energie obsažené v primárním palivu na elektrickou energii je podstatně vyšší cca 24 – 42 %, účinnost výroby tepla je cca 35 – 57 %, celková účinnost využití energie v palivu činí cca 72 – 90 %.

Daní za vyšší podíl vyráběné elektrické energie je ale nutnost spalovat drahý zemní plyn, protože však motory i turbíny mohou být provozovány i na jiná plynná paliva je možno plynovou kogeneraci zajistit i s odpadními hořlavými plyny jako např. bioplymem, dřevoplymem a skládkovým plynem. Nižší výhřevnost těchto plynů se však projeví v poněkud nižší elektrické účinnosti.

B. Parní kogenerace

Parní kogenerace označuje společnou výrobu elektrické energie a tepla s využitím Rankinova cyklu prostřednictvím páry vyrobené v kotli spalujícím palivo pevné, kapalné nebo plynné, která je přiváděna do protitlakové nebo kondenzační odběrové parní turbíny pohánějící alternátor vyrábějící elektrickou energii, využitelné teplo ve formě páry je odebíráno z protitlaku turbíny.

Celková účinnost využití energie obsažené v primárním palivu je cca 74 - 84 %, přičemž dominantní je účinnost výroby tepla cca 62 – 76 % (v závislosti na tlaku před a za turbínou), účinnost výroby elektrické energie je jen cca 8 – 12 %. Stupeň zhodnocení primárního paliva na elektrickou energii je tedy nízký, výhodou je možnost výroby páry spalováním levného paliva (uhlí, biomasa).

C. Paroplynová kogenerace

Tato kombinovaná kogenerace je zajištěna kombinací zařízení na plynovou a parní kogeneraci, někdy je také toto spojení označováno jako kombinovaný cyklus. Odpadním teplem ze spalín spalovací turbíny nebo motoru je vyráběna pára, která pohání soustrojí s parní turbínou, nebo je část takto vyrobené páry vstřikována do spalovací komory spalovací turbíny (tzv. Chengův cyklus).

Elektrická účinnost paroplynového zařízení závisí na provozních parametrech spalovací turbíny nebo motoru a parní turbíny, obvykle se pohybuje v rozmezí 38 – 46 %, tepelná účinnost se pohybuje obvykle v rozmezí 25 – 40 %.

Při dalším rozdělení kogeneračních jednotek se podrobněji zaměříme jen na plynovou kogeneraci se spalovacími motory.

Jedním z nejvýznamnějších dodavatelů kogenerační technologie s plynovými spalovacími motory v České Republice je firma Tedom. Díky dlouholetým zkušenostem s instalacemi kogenerace v různých zemích světa je schopna pružně reagovat na rozdílné požadavky zákazníků a společně s našimi partnery najít vhodné řešení dle místních podmínek.

Kogenerační jednotky jsou představovány výkonovou škálou v rozsahu elektrických výkonů od 8 do 4000 kW. Provedení jednotek podle požadavku zákazníka může být:

- A) blokové
- B) modulové
- C) kontejnerové

A) Blokové provedení

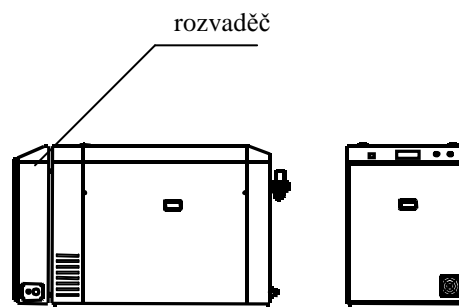
Blokové provedení kogeneračních jednotek je základním provedením. Kogenerační jednotka v tomto provedení je určena pro vnitřní instalaci do strojovny. Má v sobě kompletní technologii nutnou pro provoz jednotky. Součástí jednotky je i vestavěný elektrický rozvaděč (kromě větších výkonů, kde je řešen jako samostatný, volně stojící). Tím se minimalizují náklady potřebné pro montáž a připojení jednotky a zkrátí se doba mezi dodáním jednotky a jejím uvedením do provozu. Jednotka je standardně opatřena protihlukovým krytem a instalovaným tlumičem výfuku.

Montáž jednotky se provede usazením na místo instalace, připojením plynu, napojením chladicích okruhů a odvodu spalin, připojením kabelů pro vyvedení výkonu. Tato napojení se realizují na předem definovaná přípojná místa jednotky. Pokud je v místě instalace vyřešena ventilace a jsou k dispozici potřebná média, je jednotka připravena k provozu.

V blokovém provedení jsou nabízeny jednotky ve výkonech od 8 kW do 500 až 1000 kW. Podle konkrétního technického řešení je blokové provedení rozděleno do tří typových řad, od nichž je následně odvozeno označování kogeneračních jednotek:

Typová řada Micro

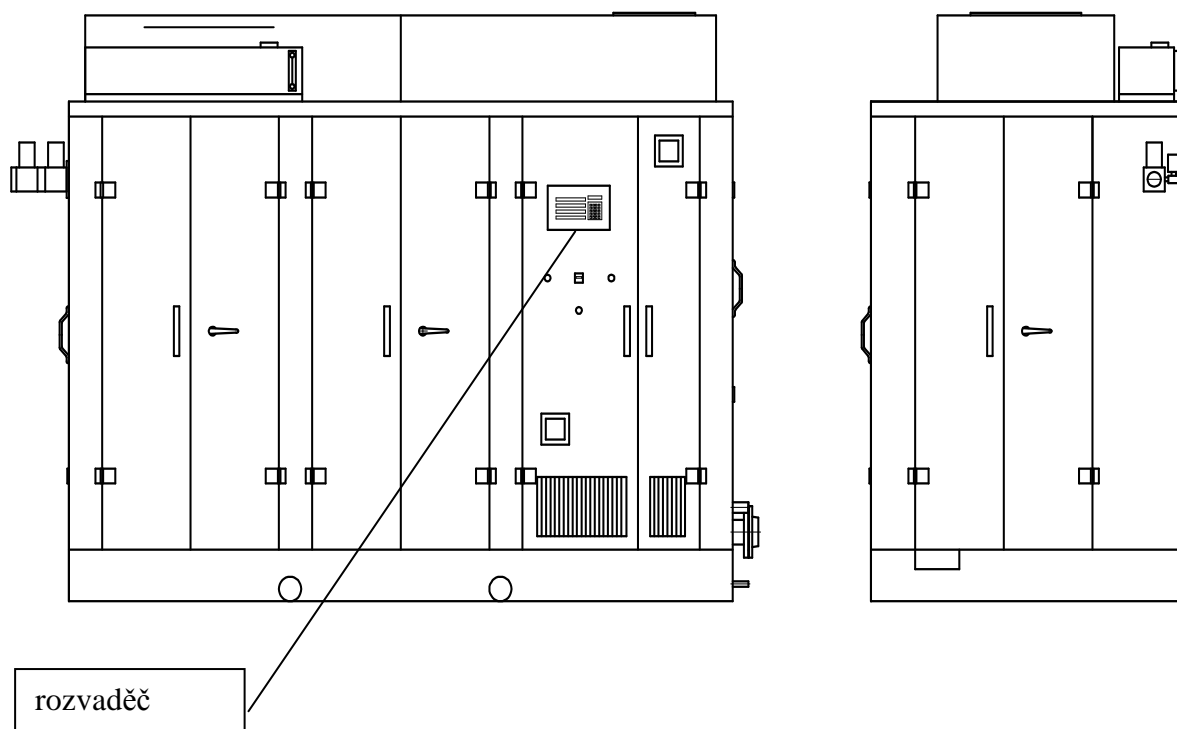
Kogenerační jednotky řady Micro (obr. 3) jsou nejmenší stroje (výkon do cca 50 kW_{el}). Vyznačují se nízkou stavbou a vestavěným elektrickým i silovým rozvaděčem. Ve standardním provedení jsou nabízeny s asynchronními generátory, na požadavek zákazníka také se synchronními generátory. Start jednotky s asynchronním generátorem probíhá postupným připojením generátoru k síti automatickým přepnutím vinutí generátoru hvězda / trojúhelník.



Obr. 3 – Kogenerační jednotka řady Micro [6]

Typová řada Cento

Kogenerační jednotky řady Cento (obr. 4) jsou stroje středních výkonů (výkony cca 50 až 300 kW_e) na bázi plynových motorů, které vycházejí z naftových vozidlových motorů tuzemských nebo zahraničních výrobců. Vyznačují se stavbou na zvýšeném základovém rámu, ve kterém je umístěna kompletní tepelná technika jednotky a tlumič výfuku. Jednotky jsou standardně opatřeny protihlukovým krytem s vestavěným elektrickým rozvaděčem. Jako nestandardní lze dodat i provedení s volně stojícím rozvaděčem.

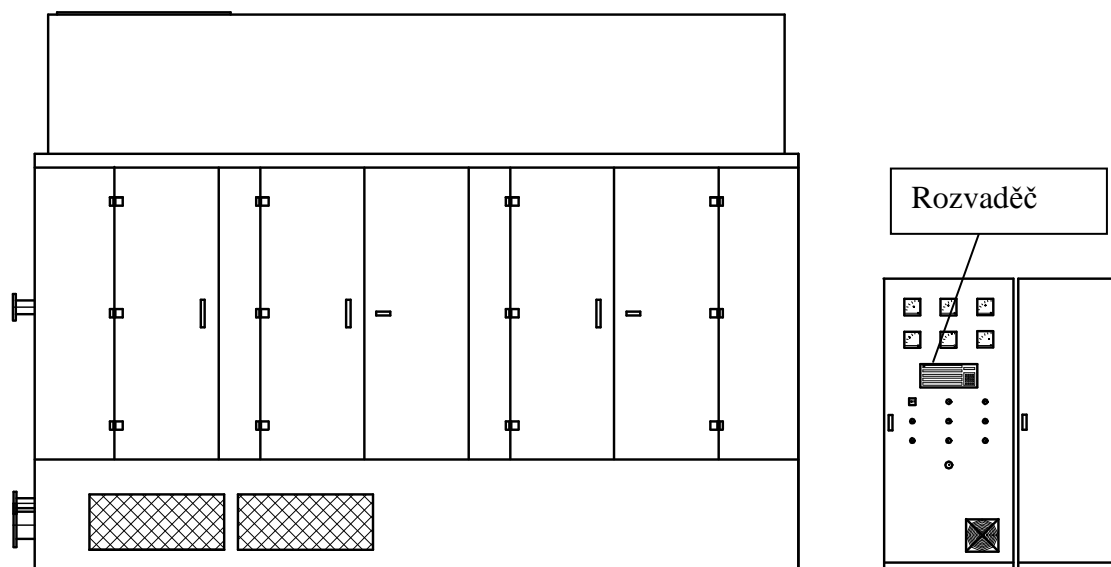


Obr. 4 – Kogenerační jednotka řady Cento [6]

Typová řada Quanto

Kogenerační jednotky řady Quanto (obr. 5) jsou stroje středních a vyšších výkonů, v nichž jsou použity kvalitní plynové motory renomovaných světových výrobců (např. americký výrobce Caterpillar, německý výrobce Deutz). V blokovém provedení tvoří řadu o výkonech od cca 400 do 1000 kW. Vyznačují se stavbou na zvýšeném základovém rámu, ve kterém je umístěna kompletní tepelná technika jednotky a tlumič výfuku. Jednotky jsou standardně opatřeny protihlukovým krytem. Dodávají se v provedení s volně stojícím elektrickým rozvaděčem.

Kogenerační jednotky jsou nabízeny ve standardním provedení se synchronním generátorem, na zvláštní přání s asynchronním generátorem. Napětí úroveň je standardně 0,4 kV, na přání mohou být dodány generátory vyšších napětí (např. 6,3 kV nebo 10,5 kV).



Obr. 5 – Kogenerační jednotka řady Quanto [6]

B) Modulové provedení

Kogenerační jednotky v modulovém provedení jsou určeny pro vnitřní instalace. Jednotka v tomto provedení je tvořena dvěma základními částmi - modulem motorgenerátoru a technologickým modulem. Rozvaděč je dodán jako samostatný, volně stojící. Modul motorgenerátoru je tvořen soustrojím motoru a generátoru, umístěném na základovém rámu. Tento modul je možné opatřit protihlukovým krytem a snížit tak hlukovou jednotky. Technologický modul soustřeďuje potřebnou technologii pro provoz kogenerační jednotky. Modul se instaluje souběžně s modulem motorgenerátoru a po jejich instalaci se musí provést propojení obou modulů. Propojení modulů a napojení na další části kotelný není standardní součástí dodávky jednotky.

Modulové provedení je vhodné pro jednotky od výkonu 500 kW. Výhodou modulového provedení je snadnější montáž na místě instalace a lepší přístupnost pro provádění údržby a servisu. Nevýhodou pak větší prostorové nároky pro montáž jednotky.

C) Kontejnerové provedení

Kontejnerová provedení kogeneračních jednotek umožňují oproti běžným blokovým provedením s protihlukovým krytem realizovat venkovní provedení vhodné do míst, kde není stavební připravenost pro instalaci blokového provedení nebo kde není možné nebo vhodné objekt budovat (viz obr. 6). Kontejnerové provedení je vhodné i do těch instalací, kde se předpokládá pouze dočasné použití jednotky (skládky apod.). V tomto případě umožňuje snadnou demontáž a přemístění jednotky na jiné místo.

Základní kontejnerová provedení jsou realizována na základě ISO kontejnerů (čelní rozměr 2,4 x 2,6 m) v délkách od 3 do 12 metrů a kontejnerů s čelním rozměrem 3 x 3 metrů v délkách 7,5 až 12 metrů.

Kontejner je tvořen robustní svařovanou konstrukcí s akustickou izolací stěn a stropu o tloušťce 80 mm, nebo 100 mm (podle provedení). Přístup pro obsluhu do kontejneru je řešen dveřmi na jedné z bočních stěn. Pro montážní práce a přístup mechanizace jsou určena čelní vrata v jedné z čelních stěn. Kontejner je osazen účinnou nucenou ventilací s akustickými tlumiči na vstupu i

výstupu ventilačního vzduchu. Vstupní a výstupní otvory jsou umístěny na čelních stěnách a jsou opatřeny protidešťovou žaluzií. Vnitřní prostor kontejneru je opatřen osvětlením.

Uvnitř kontejneru je vždy umístěno soustrojí motor s generátorem, část nebo celá technologie pro odvedení tepelného výkonu, vzduchotechnika s akustickými tlumiči, rozvaděče, elektroinstalace. Na střeše kontejneru jsou u vyšších výkonů umístěny spalínový výměník a tlumič výfuku.



Obr. 6 – Kontejnerové provedení kogenerační jednotky [7]

1.4. Princip a provedení kogeneračních zdrojů

V této kapitole budou podrobněji probrány a rozděleny kogenerační zdroje na kogeneraci plynovou, parní a paroplynovou.

1.4.1. Plynová kogenerace

Plynovou kogeneraci bude dále rozdělena podle poháněcího soustrojí na kogeneraci se spalovacími motory nebo spalovacími turbínami.

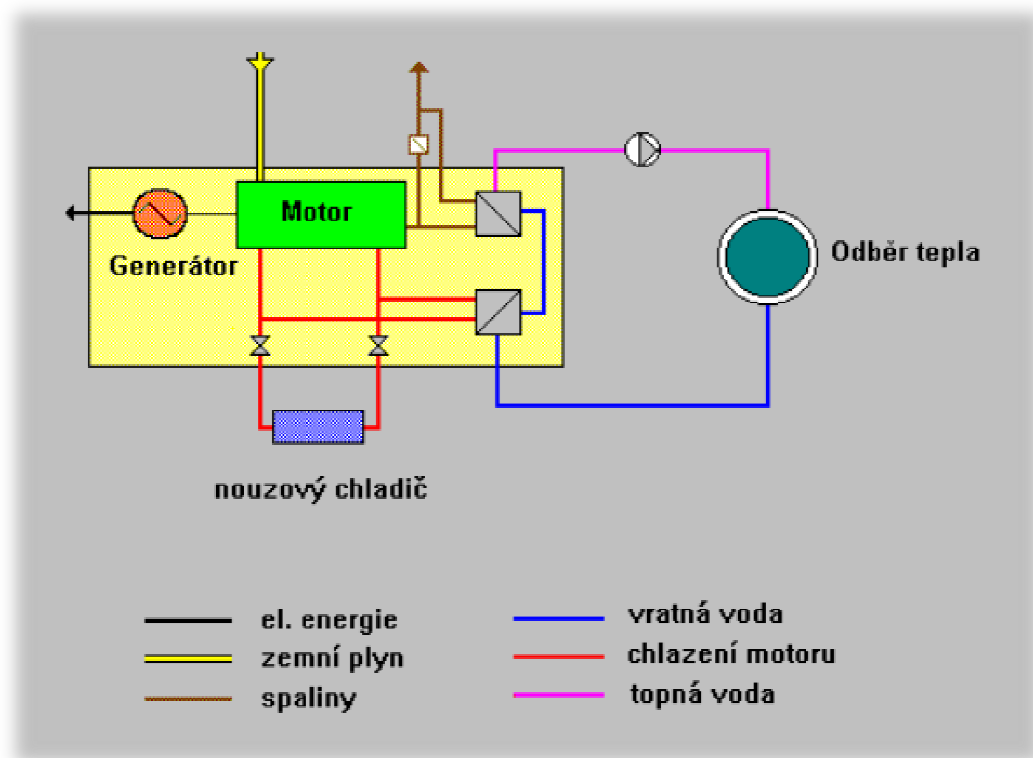
A) Kogenerační jednotky se spalovacími motory

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem se skládá ze zážehového spalovacího motoru, který pohání generátor vyrábějící elektrickou energii, a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Otáčky motoru jsou voleny tak, aby nebylo nutno mezi motor a generátor instalovat převodovku.

Směs zemního plynu se spalovacím vzduchem je do válců dodávána pod tlakem turbokompresorem poháněného spaliny.

Odpadní teplo z motoru je pro využití odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovni cca 80 - 90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalín o teplotě cca 400 – 500 °C. Výměníky jsou z hlediska průtoku teplotního média zapojeny do série (viz obr. 7).

Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90 / 70 °C, méně 110 / 85 °C. Ohřívaná voda ze zpátečky teplovodního systému (70 °C) prochází nejprve prvním výměníkem, kde se přehřeje a je vedena do výměníku druhého, kde se dohřeje na požadovanou teplotu (90 °C).



Obr. 7 – Plynová kogenerace se spalovacím motorem [2]

Ve zcela zvláštních případech je teplo z kogenerační jednotky dodáváno zvlášť v teplé vodě (odpadní teplo bloku motoru a oleje) a zvlášť v páře (odpadní teplo spalín). Pro možnost přechodného provozu kogenerační jednotky bez využití nebo s částečným využitím vyrobeného tepla jsou jednotky obvykle vybavovány nouzovým chladičem, který teplo z jednotky odvádí do atmosféry.

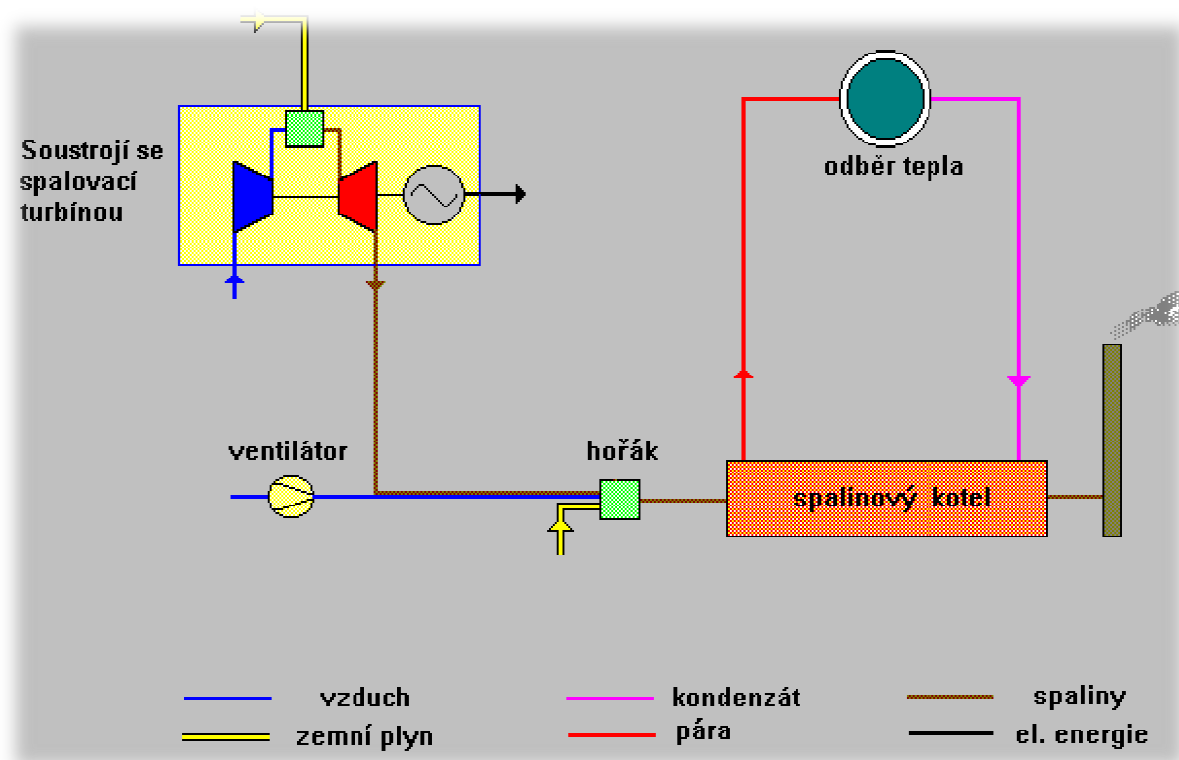
Elektrická účinnost je udána pro nominální výkon jednotky, při snižování výkonu jednotky není její pokles příliš markantní (na rozdíl od dále uvedených jednotek se spalovacími turbínami). Kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory se dodávají o elektrických výkonech v rozsahu od cca 20 kW do 5000 kW.

Kogenerační jednotku se spalovacím motorem lze instalovat prakticky do jakéhokoli stávajícího nebo rekonstruovaného průmyslového nebo komunálního zdroje tepla, pokud je v dané lokalitě dostupný hořlavý plyn v dostatečném množství a požadavek na dodávku tepla v teplé nebo horké vodě. Na rozdíl od tepla lze vyrobenou elektrickou energii využít jak v subjektu, ve kterém je umístěn zdroj, tak ji lze dodávat do sítě.

B) Kogenerační jednotky se spalovacími turbínami

Jsou tvořeny soustrojím spalovací turbína – alternátor, který vyrábí elektrickou energii, a spalínového kotle, ze kterého je dodáváno využitelné teplo ve formě teplé či horké vody nebo páry (viz obr. 8).

Spalovací vzduch je komprimován kompresorem (na stejné hřídeli s turbínou), a veden do spalovací komory, kam je také přiváděn zemní plyn, spaliny ze spalovací komory jsou přiváděny na lopatky spalovací turbíny pohánějící obvykle přes převodovku alternátor. Zemní plyn pro pohon turbíny je na rozdíl od motoru nutno přivádět pod tlakem cca 1,5 - 2,5 MPa dle kompresního poměru turbíny.



Obr. 8 – Plynová kogenerace se spalovací turbínou [2]

Z turbíny jsou spaliny přiváděny do spalínového kotle pro výrobu tepla ve formě páry nebo horké resp. teplé vody. Při požadavku na zvýšení tepelného výkonu spalínového kotle je instalován tzv. předehřívací hořák spalující zemní plyn, který je vřazen do spalin proudících z turbíny do kotle a zvyšuje teplotu spalin přicházejících z turbíny (cca 450 – 600 °C) na max. cca 900 °C. Na spalínové potrubí mezi turbínou a kotlem se obvykle instaluje uzavíratelný výfuk, kterým lze spaliny z turbíny vypouštět do ovzduší bez využití jejich citelného tepla. Tohoto výfuku se obvykle užívá při najíždění turbíny nebo při přechodném nižším odběru tepla.

Na elektrickou účinnost jednotky má největší vliv teplota spalin za spalovací komorou, ta je však omezena teplotní odolností materiálu lopatek. Palivo ve spalovací komoře je tedy spalováno za vysokého přebytku vzduchu pro udržení teploty na odpovídající úrovni. Spaliny odcházející ze

spalovací turbíny mají v důsledku toho obsah kyslíku cca 15 - 18 % a v případě jejich přehřívání ve spalínovém kotli jsou prakticky silně předehřátým spalovacím vzduchem.

Elektrická účinnost se také zvyšuje se zvyšujícím se kompresním poměrem turbíny. Tomu odpovídá i požadavek na vyšší tlak zemního plynu. Elektrická účinnost pro jednotlivé konkrétní spalovací turbíny je definována pro její nominální výkon, neboť při snižování výkonu elektrická účinnost dosti podstatně klesá. Rozsah nominálních elektrických účinností soustrojí se spalovacími turbínami je velmi široký, tj. od cca 16 % u starších typů s nízkou teplotou spalín před turbínou, až po špičkové turbíny s účinností 38 %. Všeobecně také platí, že se zvyšováním výkonu (velikosti turbíny) roste i účinnost.

Kogenerační jednotky se spalovacími turbínami se dodávají o elektrických výkonech v rozsahu od cca 1 000 kW do 200 000 kW. Nominální výkon spalovací turbíny je dán pro tzv. ISO podmínky tj. tlak vzduchu 101 300 Pa a teplotu vzduchu + 15 °C. Při snižující se teplotě se výkon zvyšuje a naopak (např.): pro -20 °C je výkon cca 120% nominálního a pro +30 °C je výkon cca 85 % nominálního výkonu.

V souvislosti s použitím konkrétního uspořádání spalínového kotle (tlaková ztráta na straně spalín) a sání vzduchu do kompresoru turbíny je ovlivněn výkon spalovací turbíny a účinnost. Např. při tlakové ztrátě v sání 3000 Pa je pokles výkonu o cca 8 % a účinnosti cca o 5%. Při stejné ztrátě na výtlačku je pokles výkonu o cca 6 % a účinnosti o 4 %.

Možnost volby media, na kterém je odváděno teplo ze spalínového kotle je z hlediska jeho využitelnosti dle požadavků spotřeby hlavní výhodou kogeneračních jednotek se spalovacími turbínami (možná dodávka celého tepelného výkonu v páře) proti kogeneračním jednotkám se spalovacími motory (dodávka tepla v teplé nebo horké vodě, ve zvláštních případech dodávka jen části tepelného výkonu v páře).

Spalovací turbíny však na rozdíl od spalovacích motorů vyžadují dodávku tlakového plynu, v případech, že v místě instalace není k dispozici patřičný tlak, je nutno instalovat posilovací kompresor, který celou instalaci zdražuje a svým elektrickým příkonem snižuje efekt kogenerační jednotky. Požadavek na dodávku tlakového plynu dokonce v některých případech znemožňuje instalaci kogenerační jednotky v důsledku zákazu dopravy tlakového plynu v dané lokalitě z bezpečnostních důvodů (např. chemické provozy s nebezpečím výbuchu).

1.4.2. Parní kogenerace

Je uskutečňována pomocí soustrojí protitlaká turbína - alternátor. Do turbíny je přiváděna pára, která je po expanzi odváděna o nižším tlaku pro využití jejího tepla ve spotřebitelském okruhu. Turbína pohání buď přímo, nebo přes převodovku alternátor vyrábějící elektrickou energii. Podle počtu otáček turbíny a počtu pólů alternátoru je volen převodový poměr převodovky tak, aby bylo dosaženo požadované frekvence 50 Hz vyráběné elektrické energie. U nízkých výkonů v některých případech pohání vysokootáčková turbína vysokootáčkový alternátor a vyrobená elektrická energie je pomocí střídače konvertována na frekvenci a napětí sítě.

Elektrická účinnost soustrojí je poměr vyrobené elektrické energie a násobku rozdílu entalpie páry na vstupu a výstupu z turbíny a jejího průtoku. Pro požadovaný tlak páry v protitlaku je z hlediska hltnosti turbíny (tuny páry/hod) nutno pro co nejvyšší elektrický výkon soustrojí zajistit co nejvyšší tlak a teplotu páry na vstupu do turbíny.

Pro elektrické výkony v rozsahu 100 kW - 15 000 kW jsou dodávána soustrojí s protitlakovými turbínami axiálními nebo radiálními. Z hlediska dosahované termodynamické účinnosti jsou výhodné moderní rychloběžné radiální turbíny jednostupňové nebo dvoustupňové s

malou měrnou hmotností a krátkou dobou najíždění. Turbíny axiální i radiální jsou v uvedeném výkonovém rozsahu konstruované pro parametry:

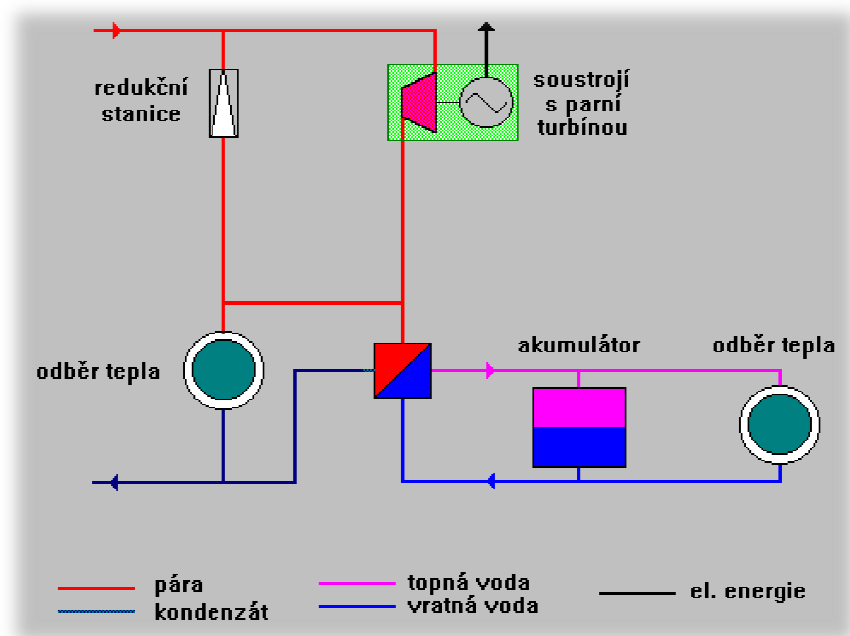
- vstupní pára o tlaku 0,8 - 6,5 MPa
- teplota 170 – 450 °C
- protitlak 0,1 - 0,7 MPa

Alternátory pro výrobu elektrické energie jsou u menších strojů asynchronní, pro vyšší výkony synchronní. Regulace výkonu soustrojí je zajištěna regulačním ventilem na přívodu páry do turbíny, případně navíc natáčivými statorovými lopatkami. Soustrojí je obvykle dodáváno na společném rámu včetně mazání a regulace.

Soustrojí protitlaková turbína - alternátor lze aplikovat jak v průmyslových tak komunálních energetických zdrojích. Tlak páry vyráběné v kotlích nebo dodávané z vnějšího parního přivaděče je obvykle vyšší než tlak požadovaný v konečných spotřebičích páry. V objektu zdroje je tedy instalována tlaková redukční stanice, v které je pára škrcena na požadovaný nižší tlak. V takových případech je možno soustrojí s protitlakovou turbínou instalovat paralelně nebo do série k stávající redukční stanici.

Soustrojí s protitlakovou turbínou lze též instalovat i do fyzicky dožitých parních zdrojů dimenzovaných přímo na požadovaný odběrový tlak páry a tedy bez redukční stanice, při výměně dožitých kotlů v takovém zdroji je možno instalovat nové kotle o vyšším tlaku páry, které následně umožní instalaci protitlakového soustrojí. Ve většině případů je odběr elektrické energie ve dne podstatně vyšší než v noci, přičemž pokles spotřeby tepla v noci není tak markantní.

Pokud je pára ve spotřebitelském okruhu také využívána pro horkovodní nebo teplovodní vytápění (pomocí výměníku pára - voda), je možno do vodního okruhu instalovat tepelný akumulátor. Soustrojí je potom možno dimenzovat na vyšší elektrický a tepelný výkon a provozovat je pouze v době vyššího tarifu odběru elektrické energie s vyšším zhodnocením vyrobené elektrické energie, přebytečné teplo dodané ze soustrojí je akumulováno a využito v noci (viz obr. 9).



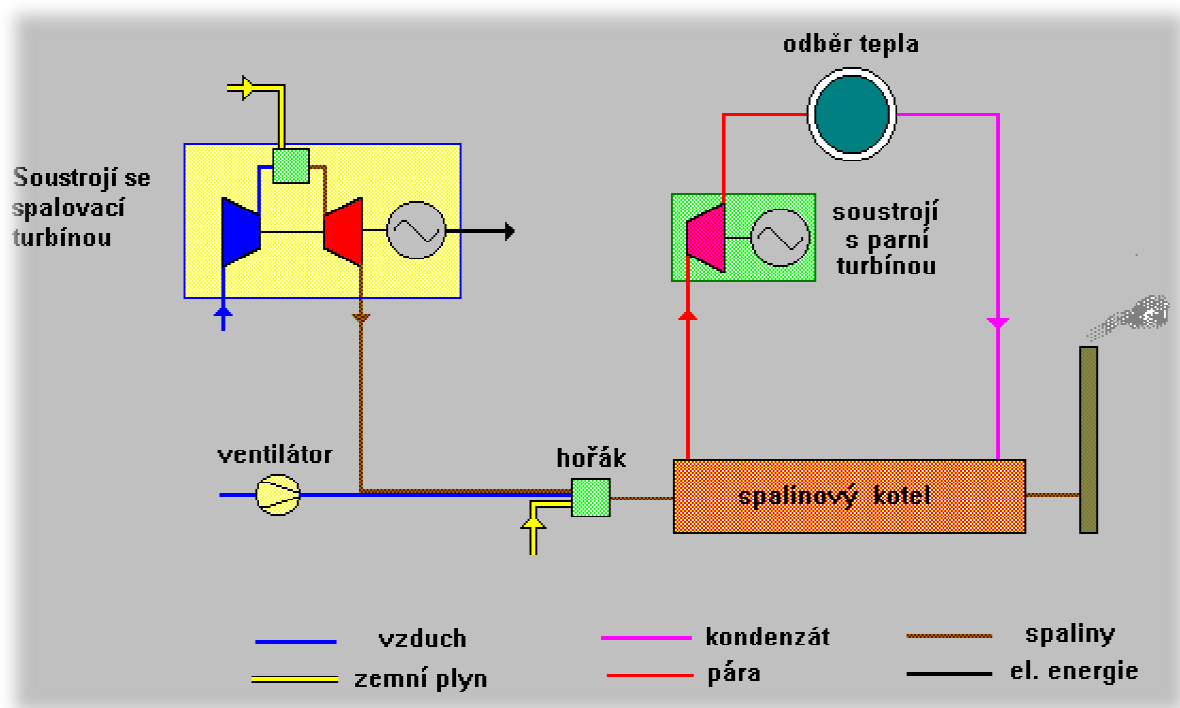
Obr. 9 – Parní kogenerace [2]

1.4.3. Paroplynová kogenerace

Kombinací oběhu spalovací a parní turbíny, tzv. paroplynovým cyklem, s využitím jejich specifických energeticky výhodných vlastností, je dosaženo vyššího stupně konverze chemické energie paliva na energii elektrickou, než při aplikaci jen kogenerační jednotky se spalovací turbínou. Paroplynovou kogenerací je tedy myšleno přiřazení parního protitlakového soustrojí ke kogenerační jednotce se spalovací turbínou (viz obr. 10) nebo ke kogenerační jednotce se spalovacím motorem.

Pára vyrobená v kotli využitím tepla spalin ze spalovací turbíny nebo motoru pohání tedy ještě parní turbínu. Vzhledem k zajištění požadavku na vyšší parametry páry a současně ne příliš velkého a drahého spalínového kotle, je třeba zajistit odpovídající teplotní spád mezi parou a spalinami, což vyžaduje v některých případech zvýšení teploty spalin ze spalovací turbíny jejich přitápěním ve spalínovém kotli pomocí předehřívacího hořáku.

Poměrem dodávky paliva do spalovací komory turbíny a spalínového kotle je potom dán poměr výkonu spalovací a parní turbíny. U větších instalací se obvykle používá dvoutlakového spalínového kotle a tomu odpovídající dvoutlakové parní turbíny. Poměr výkonů spalovací a parní turbíny je ve většině případů přibližně 3:1 až 4:1.



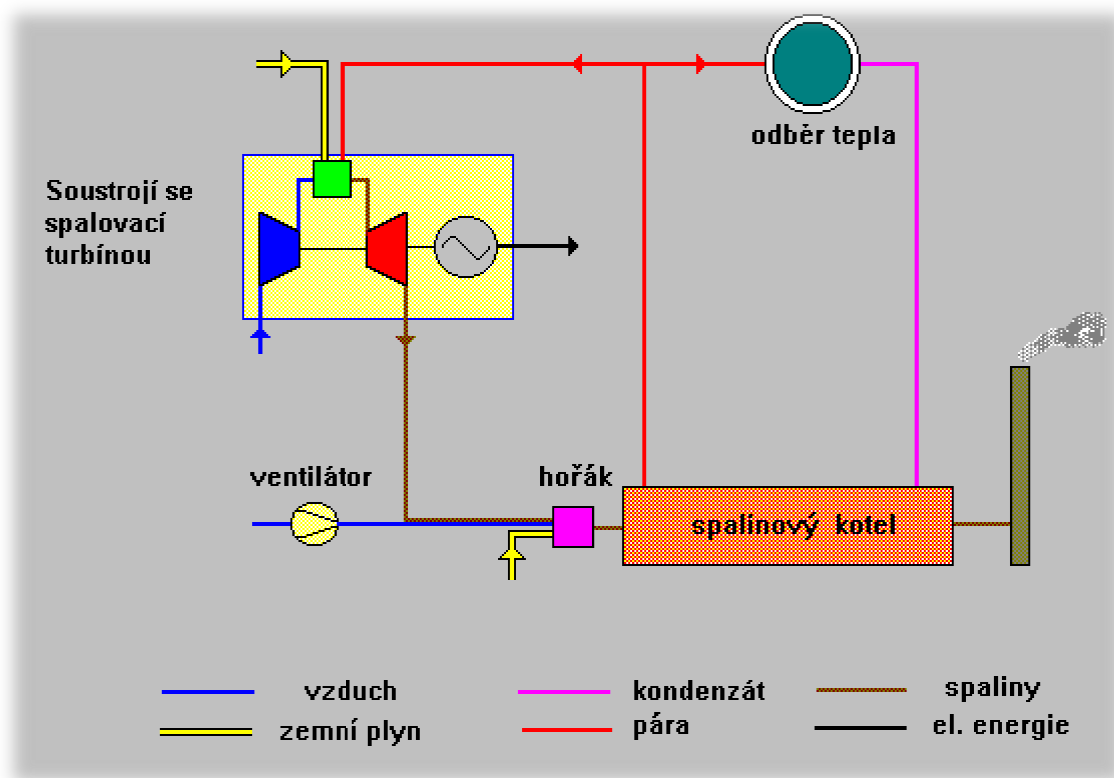
Obr. 10 – Paroplynová kogenerace s parní turbínou [2]

Paroplynovou kogenerací je možno také zajistit tzv. Chengovým cyklem (viz obr. 11). Při tomto provedení je pára vyrobená ve spalínovém kotli přiváděna do spalovací komory spalovací turbíny, čímž zvyšuje hmotnostní tok na lopatky turbíny. Tím zvyšuje nejen výkon spalovací turbíny, která v tomto režimu pracuje částečně jako parní turbína, ale také zvyšuje účinnost turbíny. Pára dodávaná do spalovací komory nemusí být přehřátá, což se pozitivně projeví jak v jednoduchosti a nižší ceně spalínového kotle, tak ve vyšším vychlazení spalin odcházejících z kotle, to má za následek zvýšení tepelné účinnosti paroplynové jednotky.

Na druhé straně jsou vyšší provozní náklady na stálou dodávku speciálně upravené přídavné vody ekvivalentní množství vstřikované páry, která po průchodu turbínou a spalínovým kotlem je

odváděna se spalinami do atmosféry. Hmotový poměr vstřikované páry ke spalinám se u dosud provozovaných zařízení pohybuje v rozsahu cca 3 – 20 %. Aplikací Chengova cyklu je dosaženo zvýšení výkonu turbíny až o 40 % a zvýšení její účinnosti až o 8 %.

Paroplynová kogenerace se vzhledem ke své složitosti obvykle uplatňuje pouze u průmyslových a komunálních zdrojů s velmi vysokým tepelným výkonem (řádově desítky až stovky MW). Protože lze měnit poměr množství vyrobené páry přiváděné na parní turbínu resp. na vstřik do spalovací komory a množství tepla přiváděné přímo do spotřeby, lze paroplynovou kogenerační jednotku v klasickém provedení (s parní turbínou) nebo pracující dle Chengova cyklu provozovat v širokém rozsahu poměru elektrického a tepelného výkonu dle požadavku spotřeby.



Obr. 11 – Paroplynová kogenerace s Chengovým cyklem [2]

1.5. Historie výroby kogeneračních jednotek

První kogenerační jednotka Tedom byla vyrobena v roce 1991. Jednalo se o jednotku výkonu 22 kW se spalovacím motorem Škoda Favorit. O dva roky později začíná výroba kogeneračních jednotek s motorem LIAZ. V roce 1995 dosahuje počet vyrobených kogeneračních jednotek 100 kusů. V následujícím roce je představena první kogenerační jednotka s motorem CATERPILLAR. Rok 2003 se stává rokem přelomovým. Je vyrobena 1000. kogenerační jednotka a Tedom zároveň kupuje továrnu na výrobu spalovacích motorů LIAZ v Jablonci nad Nisou.

V roce 2005 je řada jednotek Quanto rozšířena o verze s motory DEUTZ. Na podzim roku 2008 dosahuje počet vyrobených kogeneračních jednotek 2000 kusů a celkový elektrický výkon všech instalovaných jednotek se blíží 500 MW. Roční nárůst instalovaného elektrického výkonu se v posledních letech pohybuje od 60 do 100 MW. [7]

2. Výběr vhodného paliva pro kogenerační jednotky

V této a v dalších kapitolách budou blíže popisovány plynové kogenerační jednotky se spalovacími motory firmy Tedom.

Základním palivem pro kogenerační jednotky je zemní plyn o vlastnostech odpovídajících specifikaci distribuční společnosti plynu Transgas. Zemní plyn používaný v jiných státech nebo jiné druhy paliv ovlivňují technické parametry jednotek a mnohdy i jejich konstrukční uspořádání. Obecné vlastnosti ostatních paliv jsou uvedeny v závěru této kapitoly.

Pro některé kogenerační jednotky je možné jako palivo použít i plyny na bázi metanu, které vznikají anaerobní digestací organické hmoty (skládkový plyn, plyn čistírny odpadních vod, bioplyn, důlní plyn). Požadavky na kvalitu takovýchto plynů a provozní opatření, která je nezbytné přijmout, jsou stanoveny v technických instrukcích dané kogenerační jednotky. Kogenerační jednotka, která je určena na tyto paliva, má v technické specifikaci uvedenou kategorii plynu, na kterou je určena.

2.1. Plynová trasa kogenerační jednotky

Plyn přivedený do kogenerační jednotky prochází před vstupem do směšovače plynovou trasou. Tato trasa zajišťuje:

- filtraci vstupujícího plynu
- otevírání a uzavírání plynu
- upravuje tlak plynu na hodnotu potřebnou pro správný chod jednotky

Plynová trasa je tvořena u všech jednotek filtrem plynu, za ním dvojicí bezpečnostních elektromagnetických ventilů a inverzním odvětrávacím ventilem. Řada Micro má sdruženou plynovou armaturou s integrovaným systémem obsahující: plynový filtr, dvojitý plynový ventil, inverzní ventil a nulový regulátor.

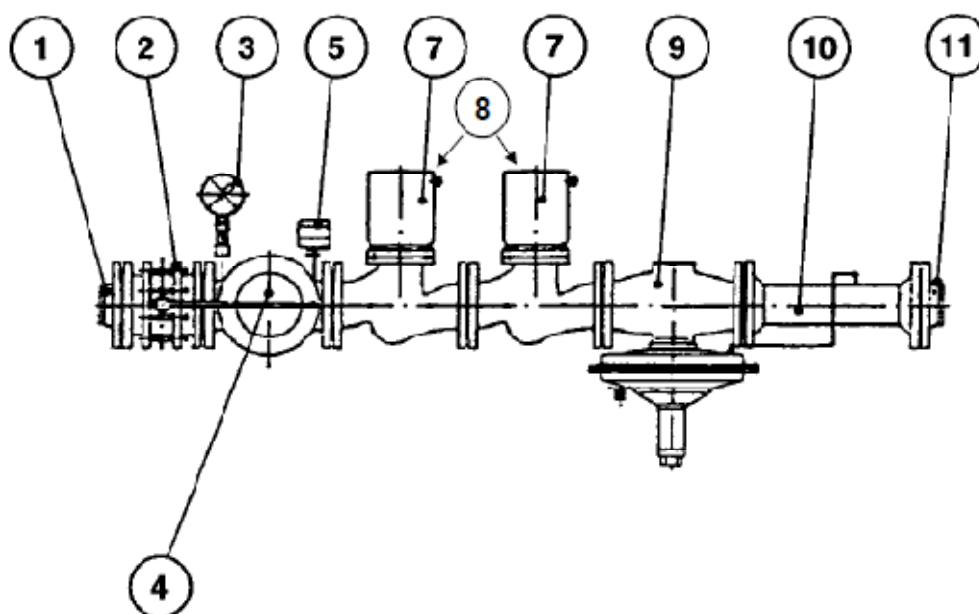
Bezpečnostní elektromagnetické ventily umožňují vstup plynu do kogenerační jednotky pouze při chodu jednotky, jinak jsou vždy zavřeny. Za elektromagnetickými ventily je umístěn nulový regulátor, který snižuje velikost tlaku plynu na hodnotu blízkou atmosférickému tlaku.

Z nulového regulátoru vstupuje plyn do směšovače, kde mísením se vzduchem vytváří palivovou směs. Částí plynové tratě je kovová hadice, která umožňuje vzájemný pohyb pohyblivých a pevných částí plynové trasy. Jednotky s mechanickým výkonem spalovacího motoru nad 100 kW mají instalován nastavitelný spínač, který reaguje na nárůst tlaku plynu nad hodnotu dvojnásobku jmenovitého provozního tlaku. Vnější ruční uzavírací ventil ani tlakoměr nejsou součástí dodávky. Tyto části musí být namontovány na přívodním potrubí plynovodu. Plynovou trasu nám blíže ukáže obrázek č. 12.

Přívod plynu se doporučuje řešit podle vhodné normy, např.:

- ČSN 38 64 20 – Průmyslové plynovody
- ČSN EN 1775 (38 64 41) – Zásobování plynem – plynovody v budovách

Vstup plynu je na jednotce tvořen přírubou nebo vnitřním závitovým spojem, odvětrání vnějším závitovým spojem. Parametry pro dimenzování přívodu plynu ke kogenerační jednotce jsou uvedeny v technické specifikaci příslušné kogenerační jednotky. [6]



Obr. 12 – Plynová trasa kogenerační jednotky [6]

Popis obrázku č. 12:

- 1 - příruba
- 2 - ruční uzavírací ventil
- 3 - manometr
- 4 - plynový filtr
- 5 - čidlo minimálního tlaku plynu
- 7 - elektromagnetické ventily
- 8 - kontrola těsnosti plynové trasy
- 9 - tlakový nulový regulátor plynu
- 10 - plynové potrubí
- 11 - příruba

2.2. Vlastnosti přívodu plynu

Vlastnosti přívodu plynu mají bezprostřední vliv na správný chod jednotky. Kolísání tlaku plynu může zhoršovat emisní vlastnosti spalín, kolísání výkonu jednotky nebo výpadky provozu jednotky. Z toho důvodu je potřeba regulační plynovou řadu a plynovod řešit tak, aby byly zajištěny tyto podmínky:

- provozní velikost tlaku byla stálá a byla v rozsahu tlaků povolených pro daný typ jednotky
- velikost akumulčního objemu plynovodu by měla být tak velká, aby změna velikosti tlaku při rázové změně průtoku z nulového na jmenovitý nebo naopak, nebyla větší než 30 % z hodnoty tlaku za klidu jednotky
- stabilita tlaku plynu a mezní vlastnosti, které jsou uvedeny v tabulce č. 1

Tab. 1 - Mezní vlastnosti obecně platné pro všechny druhy paliv [6]

max. kolísání výhřevnosti (bez automatické regulace bohatosti)	+/- 5 %
min. / max. teplota plynu	-10 / 50 °C
max. kolísání tlaku plynu	+/- 10 %
max. velikost pevných částic	5 µm
max. množství pevných částic	0,8 mg / MJ
voda v kapalném skupenství	0, žádná kondenzace

2.3. Plyny metanové

Do této skupiny plynů je přiřazen zemní plyn, který je základním palivem pro kogenerační jednotky, dále pak bioplyn, skládkový plyn nebo také důlní plyn.

Uvedené vlastnosti zemního plynu v technické specifikaci platí pro zemní plyn používaný v ČR, tedy plyn s vysokým obsahem metanu (cca 98 %) a minimem nevhodných příměsí. Pro tento plyn je určeno standardní provedení motorů jednotek. Kromě tohoto plynu lze spalovat i jiné plyny, jejichž použití je s ohledem na složení plynu omezeno. Pro tyto plyny se používají speciálně upravené motory, které se často označují jako motory na bioplyn. Mezní vlastnosti plynů jsou uvedeny v následující tabulce č. 2.

Tab. 2 – Mezní vlastnosti plynů [6]

	standardní motor	bioplynový motor
min. metanové číslo	80	100
min. obsah metanu	80 %	50 %
max. obsah sirných sloučenin	9,5 mg / MJ	57 mg / MJ
max. obsah sloučenin Cl a F	0	19 mg / MJ
max. množství oleje	0	1,19 mg / MJ
max. množství křemičitých sloučenin	0	0,5 mg / MJ
max. množství čpavku	0	2,8 mg / MJ

Údaje jsou vztaženy k výhřevnosti daného plynu.

2.3.1. Zemní plyn

Výhřevnost zemního plynu v ČR dle Transgazu je 34 MJ/m³, při tlaku plynu 101,325 kPa a teplotě 15 °C. Vzhledem k tomu, že používaný plyn je kvalitní ruský a není míchán s plynem z jiných zemí, je jeho kvalita a tím i výhřevnost stálá. Jakýkoliv jiný údaj výhřevnosti udávaný v různé literatuře je nesprávný nebo je vztažen k jiným podmínkám. Např. po přepočtu na normálové podmínky (N) je výhřevnost zemního plynu 35,9 MJ/m³.

Kromě výhřevnosti je důležitou vlastností paliva tzv. metanové číslo. Metanové číslo plynu vyjadřuje jeho odolnost proti vzniku detonačního spalování (to může zapříčinit vážné poškození motoru). Vzhledem k min. 99 % procentům obsahu metanu, má zemní plyn metanové číslo 100. Tato hodnota se vzhledem k neměnnému složení zemního plynu nemění. Přípustná hodnota metanového čísla pro spalování ve standardním plynovém motoru je kolem 75. V některých zemích je do zemního plynu přimícháván propan, který hodnotu metanového čísla prudce snižuje. Pro taková paliva jsou určeny speciálně upravené motory.

Při ověřování skutečné spotřeby plynu kogeneračních jednotek u zákazníka je vždy nutno brát v úvahu způsob měření a vyhodnocení fakturačním měřidlem. Některá jednodušší měřidla vyhodnocují pouze skutečný objem plynu, který měřidlem protekl, nezohledňují ale další vlivy, které mají na konečnou hodnotu spotřeby plynu vliv.

Fakturační podmínky jsou následující:

tlak plynu	101,325 kPa
teplota plynu	15 °C

(pozn. podmínky označované velkým písmenem N jsou platné pro 101,325 kPa a 0 °C a podmínky označované malým n jsou platné pro 98,066 kPa a 20 °C)

Skutečně změřenou spotřebu plynu je nutno přepočítat na normální podmínky, má-li se zjistit spotřeba srovnatelná s údajem uváděným v technické specifikaci.

Přepočet se provede dle vztahu:

$$V_F = V * \frac{P}{P_F} * \frac{T_F}{T} \quad [\text{m}^3/\text{hod}] \quad [6]$$

kde:

V_F je spotřeba plynu za fakturačních podmínek

V je odečtená spotřeba z plynoměru

P je absolutní tlak plynu (tj. součet změřeného barometrického tlaku a změřeného přetlaku plynu)

P_F je hodnota fakturačního tlaku

T_F je fakturační teplota

T je změřená teplota

Z uvedeného vzorce je zřejmé, že rozdíl mezi změřenou spotřebou a přepočtenou spotřebou při podmínkách pro srovnání mohou být značné.

Zemní plyn je nejpoužívanějším palivem pro kogenerační jednotky se spalovacími motory.

2.3.2. Bioplyn

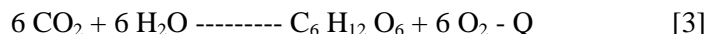
S ohledem na vyčerpatelnost stávajících zásob fosilních paliv je nutno, v maximální možné míře, zajišťovat jejich náhradu obnovitelnými a alternativními zdroji energie. Následující text je zaměřen na energetické využití odpadů biomasy v oblasti průmyslu.

Biomasa je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně pěstovaná, nebo se jedná o biomasu odpadní. Při řešení způsobu energetického využití bio odpadů je nutno vycházet nejenom z ekonomických hledisek, která jsou v tomto případě určující, ale i hledisek ekologických, aby nadále nedocházelo k dalšímu zatěžování přírody. Přestože využití bio odpadů pro energetické účely má i své negativní stránky, nelze nevyužít tuto možnost alespoň k částečnému řešení problémů energetiky a to především tam, kde jsou k tomu vytvořeny odpovídající podmínky.

Z bio odpadů se produkuje pomocí fermentačního reaktoru bioplyn, který představuje plynné palivo pro pohon kogenerační jednotky.

Podstata bioplynu

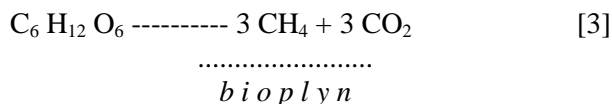
Princip vzniku bioplynu je znám již z minulého století a byl dostatečně ověřen v rámci provozu čistíren odpadních vod a kalů. Zelené rostliny obsahují listovou zeleň, která zachycuje sluneční záření. Z dopadající sluneční energie, z oxidu uhličitého (který je obsažen ve vzduchu) a z vody jsou vytvářeny cukry. Tento proces, který je zdrojem života, se nazývá fotosyntéza a lze ho zjednodušeně vyjádřit chemickou rovnicí:



Při rozkladu organické hmoty za přístupu vzduchu (aerobní rozklad) probíhá chemický děj opačně a část energie získané při fotosyntéze se uvolňuje:



Při dodávce tepelné energie za nepřístupu vzduchu vzniká bioplyn dle vztahu:



Asi 90 % energie je při tomto procesu zachováno v metanu, který lze energeticky využít. V přírodě vzniká bioplyn v bahnitých dnech rybníků, v bažinách a všude tam, kde nastává hnití bez přístupu vzduchu. Složení bioplynu není přesně definováno s ohledem na nestálost jeho chemického složení. Jeho skutečné složení je závislé na kvalitě a složení exkrementů, na teplotě anaerobního kvašení, atd. V závislosti na chemickém složení se mění i výhřevnost bioplynu. Průměrné složení bioplynu a jeho základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3 – Složení a vlastnosti bioplynu [3]

Hodnota	metan	CO ₂	H ₂	H ₂ S	bioplyn
Objemový podíl %	55 - 70	27 - 44	1	3	100
Výhřevnost MJ/m ³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Hranice zápalnosti %	5 - 15	-	4 - 80	4 - 45	6 - 12
Zápalná teplota °C	650 - 750	-	585	-	650 - 750
Měrná hmotnost kg/m ³	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Složení bioplynu v tabulce je 60 % CH₄ a 40 % CO₂.

Hlavní energetickou složkou bioplynu je metan CH₄. Čím vyšší procento metanu bioplyn obsahuje, tím je vyšší jeho výhřevnost (MJ/m³). Obecně je bioplyn považován za směs plynů, která obsahuje 60 - 70 % metanu a 30 - 40 % oxidu uhličitého. Se vzduchem tvoří metan explozivní směs již při 5 - 6 % objemu.

Oxid uhličitý CO₂ nemá v bioplynu energetický význam a tvoří pouze jeho balastní složku, jejíž přítomnost pouze snižuje výhřevnost bioplynu. Vodík H₂ představuje z energetického hlediska žádoucí složku bioplynu. Jeho objemový podíl je však bohužel velmi nízký. Sirovodík H₂S vzniká při rozkladu bílkovin, které jsou obsaženy v organické hmotě. Tento plyn je jedovatý a navíc způsobuje korozivní účinky na kovových plochách bioplynového zařízení i použitým spalovacím motorem.

V nepatrné koncentraci se do bioplynu může dostat i čpavek NH₃, který vzniká při štěpení organické hmoty. I tento plyn má korozivní účinky jako sirovodík a napadá především mosazné armatury.

2.4. Plyny na základě vyšších uhlovodíků

Limitním faktorem pro použití těchto plynů je jejich nízké metanové číslo. Jednoznačně nelze pro ně stanovit podmínky provozu, neboť se liší u jednotlivých typů jednotek. Etan se objevuje většinou pouze jako přísada jiného plynu (zemní plyn ve Španělsku). Propan, podobně jako etan, bývá často přísadou zemního plynu (Německo). Co se propanu týká, lze ho ve 100 % koncentraci použít u většiny jednotek (převážně u malých kogeneračních jednotek řady Micro). Směsné plyny, např. propan-butan jsou použitelné v omezeném poměru obou složek.

Propan-butan je zkapalněné plynné palivo tvořené směsí uhlovodíků propanů a butanů s malými podíly dalších uhlovodíků. Poměr množství obou složek ve směsi je dán typem směsi a je závislý na ročním období. Zimní směs musí z důvodu zajištění odpařovací schopnosti obsahovat určité množství propanu.

Výhřevnost jednotlivých uhlovodíků propanu i butanu je vyšší než např. výhřevnost zemního plynu. Totéž platí i o výhřevnosti směsi, což je pro srovnávání výkonu motoru jednotky důležitější. Z uvedené tabulky č. 4 je zřejmé, že pokud bychom srovnávali použití zemního plynu a propanu (propan-butanu) vzhledem k výkonu motoru, použití propanu (propan-butanu) by umožnilo dosáhnout vyšší výkon.

Tab. 4 – Srovnání výhřevností jednotlivých plynů [6]

	zemní plyn	propan	butan
Výhřevnost plynu	34 MJ / m ³	46,2 MJ / kg	45,9 MJ / kg
Výhřevnost směsi	3,22 MJ / m ³	3,47 MJ / m ³	3,52 MJ / m ³
Výkon motoru	100 %	108 %	109 %

Použití propanu, propan-butanu jako paliva pro kogenerační jednotku je obecně možné. Při stanovování ceny a dodacích lhůt je nutné počítat s tím, že se nejedná o standardní provedení.

3. Možné způsoby připojení zdroje na síť

Vybavení kogenerační jednotky bude voleno tak, aby soustrojí bylo schopno plnit účel, ke kterému bylo objednáno a který je po něm požadován. Z hlediska spolupráce s veřejnou sítí jsou možné tři základní druhy provozu kogenerační jednotky a dále v úvahu přicházejí některé jejich vzájemné kombinace.

3.1. Druhy provozu kogenerační jednotky

Konkrétní druh provozu, pro který bude jednotka určena, je označován doplňkovými písmeny v rozšířeném typovém označení jednotky.

Základní druhy provozu jsou tyto:

- A) paralelní provoz se sítí (označován doplňkovým písmenem **P**)
- B) ostrovní provoz (označován doplňkovým písmenem **I**)
- C) nouzový provoz (označován doplňkovým písmenem **E**)

Vzájemné možné kombinace jsou tyto:

- paralelní provoz se sítí a ostrovní provoz (**P+I**)
- paralelní provoz se sítí a nouzový provoz (**P+E**)

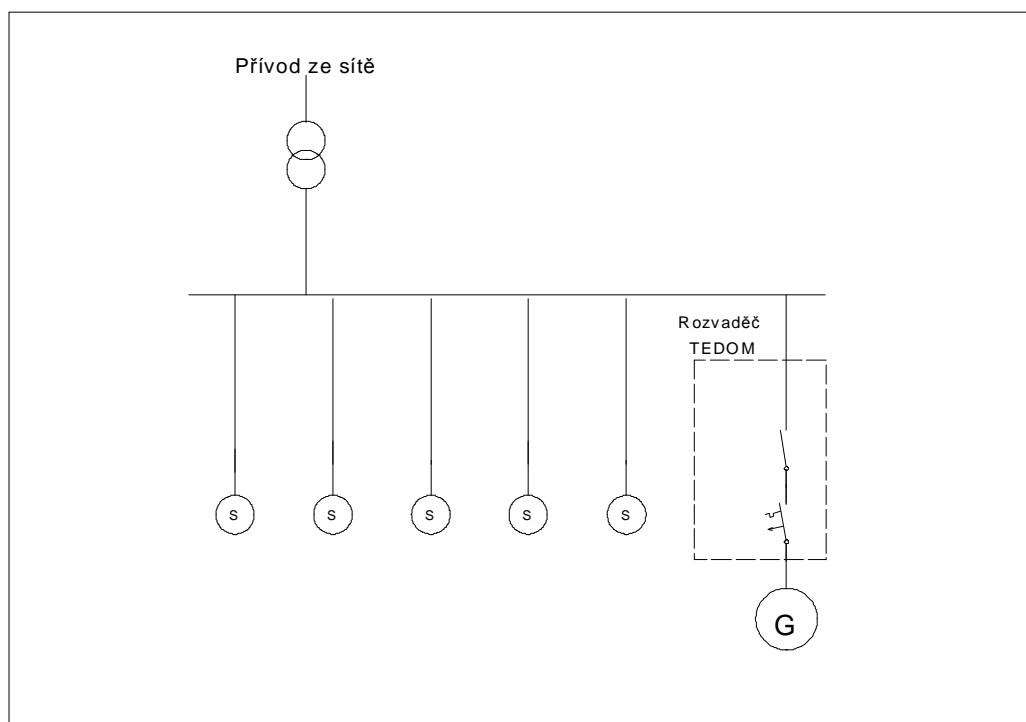
Je nutné zdůraznit, že pro kogenerační jednotky vybavené asynchronním generátorem je možný pouze a jenom paralelní provoz se sítí.

Dále budou podrobněji rozebrány a popsány základní druhy provozu kogeneračních jednotek, vzájemné možné kombinace nebudou podrobněji popisovány.

A) Paralelní provoz se sítí

Při paralelním provozu dojde po povelu na start jednotky k nastartování motoru a po dosažení nominálních otáček je zahájeno automatické fázování generátoru k síti. V okamžiku splnění všech podmínek pro fázování následuje připojení generátoru k síti. Dále pak jednotka pracuje paralelně se sítí na zadané hodnotě elektrického výkonu a vyrobená elektrická energie je dodávána do sítě.

U soustrojí malého výkonu vybavených asynchronním generátorem je jednotka startována tak, že generátor je ve dvou krocích (rozběh hvězda/trojúhelník) v motorickém režimu připojen k síti. Po roztočení soustrojí, zapnutí zapalovací soustavy a otevření přívodu paliva dojde k nastartování spalovacího motoru a po zvýšení otáček je zahájena dodávka elektrické energie.



Obr. 13 – Paralelní provoz kogenerační jednotky se sítí [6]

Z obchodního hlediska je možno do sítě dodávat buď veškerou vyrobenou elektrickou energii, nebo provozovatel část vyrobené energie spotřebovává a do veřejné sítě dodává pouze její zbývající

část, tzv. přebytky, nebo je výkon soustrojí nastaven tak, aby provozovatel ze sítě neodebíral, ani do rozvodné sítě nedodával.

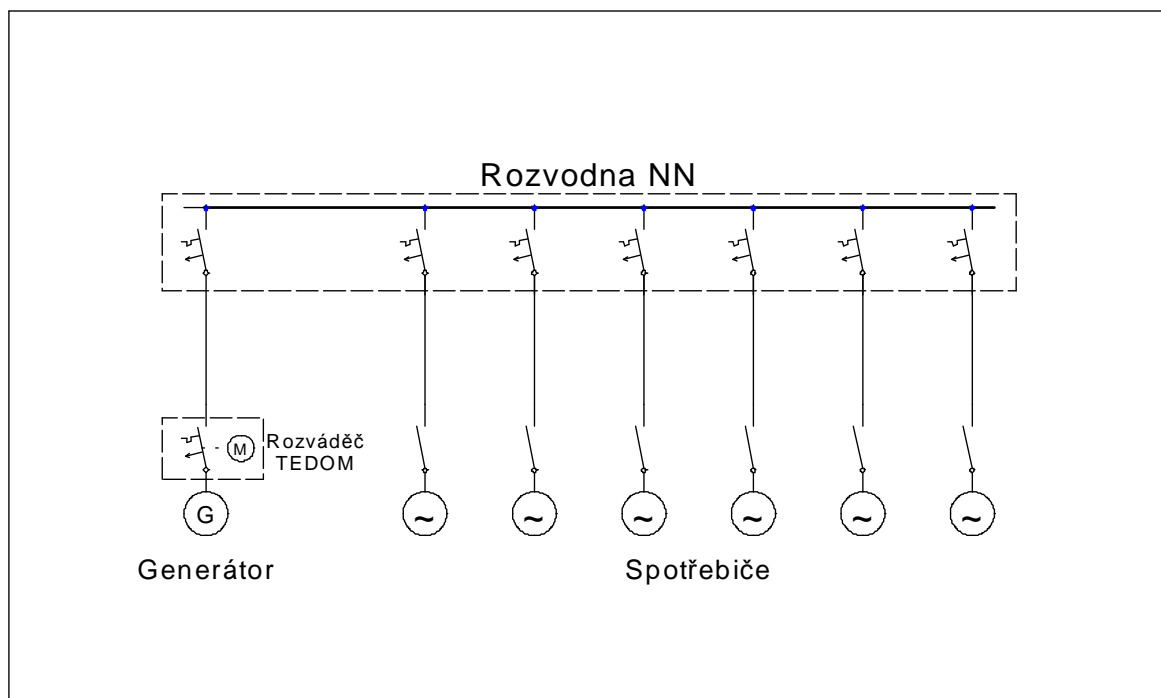
Po povelu na stop jednotka sníží výkon na tzv. prochlazovací úroveň, po nastavené době se generátor odpojí od sítě, následuje zastavení motoru a v provozu zůstanou pouze spotřebiče potřebné k dochlazení soustrojí. Po skončení prochlazovacího cyklu odstaví i tyto spotřebiče a jednotka se uvede do klidu. Blokové schéma připojení kogenerační jednotky paralelně se sítí je na obrázku č. 13.

B) Ostrovní provoz

V ostrovním režimu pracuje jednotka zcela autonomně bez připojení na veřejnou rozvodnou síť. Kogenerační jednotka je tedy pouze jediným zdrojem elektrické energie. Po manuálním povelu na start jednotky probíhá automatický proces připojování generátoru k rozvodně, do které je vyveden jeho výkon.

Po dosažení nominálních otáček a nominálního napětí na svorkách generátoru sepne stykač generátoru (nebo jistič s motorovým pohonem) a generátor se připojí k rozvodně. V okamžiku připojení je třeba zajistit, aby na rozvodně bylo připojeno pouze základní malé zatížení, cca 20 % nominálního výkonu generátoru a zároveň, aby nebyl překročen nárazový proud, cca 200 % jmenovitého proudu generátoru po dobu řádově 0,2 s. Další spotřebiče je nutno připojovat postupně v dalších čtyřech až pěti krocích tak, aby nedošlo k nárazovému překročení jmenovitého proudu generátoru o více než 100 %. Pokud jsou ze strany výrobce motoru či generátoru stanoveny požadavky přísnější, jsou tyto požadavky nadřazeny požadavkům zde uvedeným.

Generátor pak dodává do ostrovní zátěže výkon, jehož velikost je daná okamžitou spotřebou (velikostí zátěže). V tomto režimu provozu je nominální kmitočet udržován činností regulátoru otáček a nominální napětí udržuje automatický regulátor napětí, který je součástí generátoru.



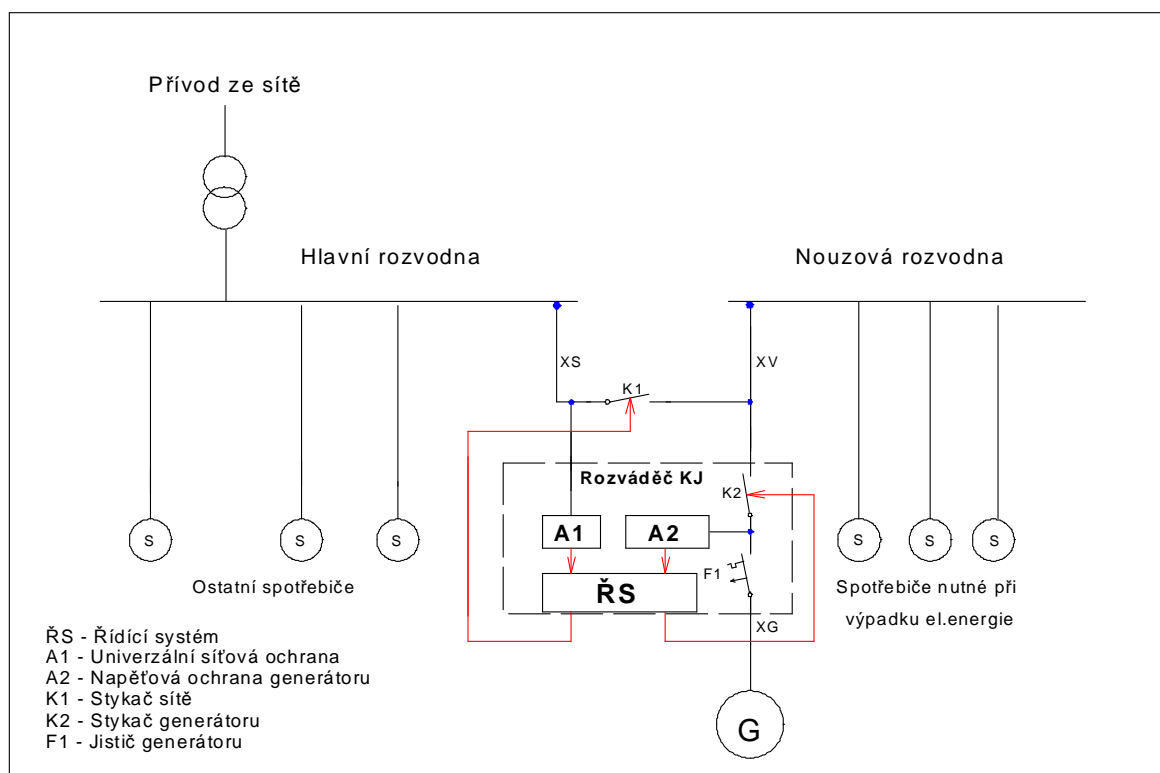
Obr. 14 – Ostrovní provoz kogenerační jednotky [6]

Před odstavením jednotky je vhodné nejprve postupně vypnout většinu spotřebičů a jednotku nechat v provozu cca 3÷5 minut na výkonu cca 20÷30 % nominálního výkonu. Poté je možno

stisknout tlačítko stop, čímž dojde k odpojení generátoru od rozvodny (odepne stykač generátoru), dále následuje krátký čas, kdy soustrojí zůstane v běhu na jmenovitých otáčkách a teprve potom motor zastaví. Dochlazení jednotky při tomto druhu provozu není možné, protože po zastavení motoru již nemáme k dispozici elektrickou energii pro pohon čerpadel a ventilátorů. Blokové schéma máme na obrázku č. 14.

C) Nouzový provoz

V nouzovém provozu plní jednotka funkci záložního zdroje. Řídicí systém kogenerační jednotky při tomto druhu provozu ovládá dva silové spínací prvky (stykače nebo jističe s motorovým pohonem). Jedním z nich se připojuje generátor k nouzové rozvodně (stykač generátoru, na schématu označen K2), druhý slouží pro spojení nouzové rozvodny s rozvodnou hlavní, resp. se sítí (stykač sítě, K1). Hlavní jistič generátoru F1 chrání generátor a část propojovacího vedení proti zkratu a proti přetížení. Blokové schéma je na obrázku č. 15.



Obr. 15 – Nouzový provoz kogenerační jednotky [6]

Pokud jsou parametry sítě v pořádku, je jednotka v pohotovostním stavu, stykač sítě je sepnut a napájení nouzové rozvodny probíhá z hlavní rozvodny, resp. ze sítě.

Při výpadku sítě odpadne stykač sítě a začne probíhat automatický start jednotky s následným připojením generátoru k ostrovní zátěži (sepne stykač generátoru). Jednotka pak dodává elektrický výkon do ostrovní zátěže za stejných podmínek jako v ostrovním provozu. To znamená, že v okamžiku připojení je třeba zajistit, aby na rozvodně bylo připojeno pouze základní malé zatížení, cca 20 % nominálního výkonu generátoru a zároveň, aby nebyl překročen nárazový proud cca 200 % jmenovitého proudu generátoru po dobu řádově 0,2 s. Další spotřebiče je nutno připojovat postupně

v dalších čtyřech až pěti krocích tak, aby nedošlo k nárazovému překročení jmenovitého proudu generátoru o více než 100 %. Pokud jsou ze strany výrobce motoru či generátoru stanoveny požadavky přísnější, jsou tyto požadavky nadřazeny požadavkům zde uvedeným.

Po obnovení sítě jednotka ještě po nastavenou dobu dále pracuje do ostrovní zátěže, přičemž řídicí systém kontroluje, zda nedojde k opětovnému výpadku sítě.

Není-li tomu tak, začne proces zpětného fázování, při kterém se jednotka po splnění podmínek pro fázování připojí i se zátěží k síti (sepne stykač sítě). Po fázování dojde k odpojení generátoru od sítě (odpadne stykač generátoru) a zátěž je pak napájena pouze ze sítě.

Druhou možností převedení zátěže na obnovenou síť je tzv. „zpětný skok“, kdy nejprve dojde k odpojení stykače generátoru a teprve v následujícím okamžiku dojde k sepnutí stykače sítě (tyto dva stykače mohou být navzájem mechanicky blokovány), tímto postupem je zabezpečeno splnění podmínky, že nouzový zdroj nesmí spolupracovat paralelně se sítí. Pro chod jednotky v nouzovém provozu platí stejné podmínky jako pro ostrovní režim.

V případě, že by ze strany provozovatele byl požadavek na to, aby v nouzovém provozu pracovalo více jednotek paralelně do jedné soustavy, je nutno doplnit zařízení (nadřazený řídicí systém), které zabezpečí rozdělování činného a jalového výkonu mezi jednotlivé generátory a ovládání stykače sítě.

Kombinovaný provoz paralelní a ostrovní

Tento druh provozu využíváme tam, kde je kromě paralelního provozu požadováno i zálohování, ale není nutné, aby převzetí zátěže proběhlo automaticky a bezprostředně po výpadku sítě.

Kombinovaný provoz paralelní a nouzový

Tento druh provozu využíváme tam, kde je kromě možnosti paralelního chodu požadováno zálohování zdroje elektrické energie s okamžitým automatickým najetím při výpadku sítě.

3.2. Vlivy připojování kogenerační jednotky na síť

Připojení kogenerační jednotky do veřejné sítě

Připojení do veřejné sítě je provedeno silovými vodiči ze svorek rozvaděče jednotky na vývod podružného nebo hlavního rozvaděče. Tento vývod je potřeba jistit proti zkratu na vedení a to sice jističem nebo vhodnými pojistkami (obvykle o 1÷2 stupně vyššími než jmenovitá hodnota proudu generátoru).

Pro stanovení jmenovitého proudu generátoru je hodnota $\cos \varphi$ uvažována takto:

- U asynchronních generátorů jsou v rozvaděči kogenerační jednotky osazeny kondenzátory, pomocí nichž je hodnota $\cos \varphi$ kompenzována na hodnotu cca 0,95. Pro výpočet jmenovitého proudu je použita hodnota 0,8, tj. minimální hodnota účinníku asynchronního generátoru bez připojených kompenzačních kondenzátorů.
- Pro soustrojí vybavená synchronními generátory se podle údajů výrobců generátorů účinník může pohybovat v rozmezí 0,8÷1, a to jak v kapacitní tak v induktivní oblasti. Pro stanovení nominálního proudu je tedy brána hodnota $\cos \varphi = 0,8$, i když ve většině případů se tato

hodnota pohybuje v rozmezí $0,95 \div 1$. Řídicí systém zákazníkovi umožňuje nastavit si požadovanou hodnotu $\cos \varphi$ na svorkách generátoru pomocí volně přístupného parametru.

Jističe řady Compact a Masterpact jsou do výkonu 100 kW včetně osazeny standardní termomagnetickou spouští, pro vyšší výkony je osazována spoušť elektronická. Spouště jsou vždy nastaveny na jmenovitý proud generátoru.

Silové vodiče je nutno dimenzovat podle jmenovitého proudu jednotky a způsobu jejich uložení dle ČSN 33 2000-5-523.

Vlivy na síť

Při výpočtu zkratových poměrů v místě připojení je v některých případech nutné uvažovat příspěvek zkratového proudu generátoru. U asynchronních a většiny synchronních generátorů nepřesahuje hodnota zkratového proudu generátoru 10 - ti násobek jmenovitého proudu. Obvyklá hodnota u asynchronních generátorů je přibližně shodná s rozběhovým proudem ($5 \div 8$ násobek podle výkonu).

Vlivy připojování generátorů na veřejnou síť jsou dva:

- Vliv připojování k síti - změna napětí

Asynchronní generátory

U jednotek, kde je generátor využíván v motorickém režimu pro rozběh spalovacího motoru, se připojovací špička omezuje přepínáním hvězda / trojúhelník. Rozběhový proud pak dosahuje cca $2 \div 2,5$ násobku jmenovitého proudu, ale pouze po velmi krátkou dobu (řádově desítky milisekund).

Synchronní generátory

Synchronní generátory jsou připojovány k síti po splnění všech fázovacích podmínek, které jsou nastavovány velmi přísně, pouze s malou tolerancí. Dosahuje se tím vysoká přesnost fázování při poměrně krátké době (obvykle do 20 s). Vlivy připojování jsou v takovém případě zanedbatelné, protože připojovací proudy dosahují maximálně jmenovité hodnoty proudu generátoru.

- Harmonická zkreslení a jiná rušení

Harmonická zkreslení

Jsou vždy dána konstrukcí generátoru. V kogeneračních jednotkách jsou obvykle používány generátory moderní konstrukce, které splňují požadavky harmonizované normy ČSN IEC 61000-3-4.

Ostatní rušení

Rozvaděč neobsahuje žádné obvody s velkými nízkofrekvenčními nebo vysokofrekvenčními signály, střídače, impulsní zdroje ani jiná zařízení, která by mohla zavést rušení do veřejné sítě. Z hlediska rušení splňuje normy, související s problematikou rušení. [6]

3.3. Elektrické ochrany kogenerační jednotky

Pro dodržení parametrů dodávané energie a zajištění odstavení soustrojí v případě výpadku sítě jsou rozvaděče jednotek vybaveny ochranami. Tyto ochrany zabráňují průniku napětí do rozvodné sítě v případě, že by tato síť byla odpojena.

Z těchto důvodů je také nutno jistící prvek na vývodu k jednotce (v podružném nebo hlavním rozvaděči) vybavit tak, aby ho bylo možno uzamknout (např. visacím zámkem) ve vypnutém stavu. U pojistkových odpojovačů je možno stejným způsobem umožnit uzamčení celé skříně (požadavek rozvodných závodů). Toto opatření umožňuje pracovníkům rozvodných závodů uzamknout přívody od všech potenciálních zdrojů napětí.

Osazení ochranami se řídí podmínkami malých zdrojů elektrické energie a dalšími obvyklými požadavky energetických společností. V rozvaděčích jsou standardně osazovány tyto ochrany, které jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tab. 5 – Standardní elektrické ochrany v rozvaděčích [6]

Druh ochrany	Nastavení
Nadproudová - tepelná	jmenovitý proud jednotky I_m
Zkratová - magnetická	$5 \times I_m$ časově nezávislá
Přepětíová - digitální	110 % (253 V), zpoždění 0,1 s
Podpětíová - digitální	90 % (207 V), zpoždění 0,1 s
Frekvenční - digitální	± 2 % (51 / 49 Hz), zpoždění 0,1 s
Napětíová nesymetrie	± 10 % U_n (jmenovitého napětí), zpoždění 0,1 s
Vektorová - digitální	18°
Zpětná wattová - elektronická	-5 % P_n , zpoždění $5 \div 10$ s
Otáčková ochrana - digitální	115 % jmenovitých otáček

Nadproudová a zkratová ochrana chrání rozvaděč, soustrojí a částečně přívodní vedení před proudovým přetížením klasickým způsobem.

Otáčková ochrana stopuje jednotku a odpíná ji od veřejné sítě v případě tzv. přeběhu otáček. Otáčky se vyhodnocují signálem z indukčního snímače zubové frekvence.

Zpětná wattová ochrana chrání jednotku před poškozením v případě ztráty výkonu. Dochází pak k motorickému chodu generátoru, který ho může poškodit. Vyhodnocování zpětného výkonu se děje porovnáváním přednastavené meze se skutečným činným výkonem.

Napětíové a frekvenční ochrany mají vazbu ve formě signálu do kontroléru a také přímou vazbu na spínací prvek, takže při chybě napětí nebo frekvence se jednotka odpojuje od sítě se zpožděním nastaveným na ochranách.

Mimo uvedených ochran jsou do rozvaděčů ještě osazovány přepětíové ochrany, které mají za úkol minimalizovat poškození přístrojů instalovaných v rozvaděči při vzniku přepětí v síti.

V dnešní době jsou všechny výše uvedené elektrické ochrany integrovány do řídicího systému kogenerační jednotky.

3.4. Rozvaděč kogenerační jednotky

Rozvaděč kogenerační jednotky je možno rozdělit na silovou a ovládací část. Silová část rozvaděče slouží pro vyvedení elektrického výkonu z jednotky. Ovládací část v sobě zahrnuje všechny řídicí a kontrolní funkce nutné pro správný chod jednotky.

Silová část

Silová část je řešena především s ohledem na zkratovou odolnost. Standardní zkratová odolnost je uvedena v technických podmínkách daného rozvaděče kogenerační jednotky.

Ovládací část

Základní součástí ovládací části je řídicí systém. Toto zařízení zajišťuje plně automatický provoz soustrojí tím, že na základě sledování stavu binárních a analogových vstupů ovládá příslušné výstupy.

Pro ovládání kogeneračních jednotek Tedom se používá několik druhů řídicích systémů v závislosti na výkonu kogenerační jednotky a požadavcích zákazníka. Všechny typy řídicích systémů zabezpečují plně automatický chod soustrojí.



Obr. 16 – Zobrazovací jednotka Procon Sight [7]

Na obrázku č. 16 je vidět nová generace zobrazovací jednotky pro kogenerační jednotky – Procon Sight. Procon Sight je navržen tak, aby byl funkční okamžitě po připojení k řídicímu systému (Plug and Play), prostřednictvím sériového rozhraní RS232/485 nebo sběrnice CAN.

Díky barevnému displeji s velkým rozlišením a kontextovým a navigačním tlačítkům poskytuje ProCon Sight snadnou dostupnost všech údajů o soustrojí, sledovaných hodnot a časových průběhů veličin.

Hlavní přednosti a výhody zobrazovací jednotky Procon Sight:

- Velký 8“ barevný TFT displej s rozlišením 800 x 600 bodů
- Jednodušší a rychlejší ovládání použitím kontextových tlačítek
- Trvale zobrazený stavový řádek
- Zobrazení časových průběhů vybraných veličin - grafy
- Přehlednější zobrazení historie
- Operační systém Windows CE
- Navrženo pro provoz ve strojovnách i na dispečinku
- CE, UL a ULC certifikace; krytí čelního panelu IP65

4. Legislativní rámec – podmínky pro připojení

Pořízení kogenerační jednotky je vážnou investicí, před níž je nutno dobře zvážit všechny ekonomické, technické a legislativní faktory, ovlivňující efektivitu provozu celého zařízení. Ekonomickou rentabilitu a technické podmínky instalace kogenerační jednotky projednávají s potenciálními provozovateli většinou dodavatelé technologie. S pořízením a provozem kogenerační jednotky je však také spojeno množství administrativních úkonů, které jsou upraveny řadou zákonů a vyhlášek.

4.1. Legislativní podmínky

Připojení zdroje do sítě

U vašeho územně příslušného distributora elektrické energie (např. EON, ČEZ, PRE) se musí zažádat o připojení zdroje k distribuční soustavě. Společně s žádostí se předloží projekt na zapojení kogenerační jednotky. Pokud bude žádosti vyhověno, uzavře se s distributorem elektrické energie smlouva o připojení k distribuční soustavě. Náležitosti Smlouvy o připojení k distribuční soustavě definuje zákon č. 458/2000 Sb. a vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb.

Stavební povolení

Kogenerační jednotku lze instalovat na základě stavebního povolení, které vydává stavební odbor příslušného obecního nebo městského úřadu. K žádosti o stavební povolení se předloží projekt na instalaci kogenerační jednotky a na vyvedení elektrického výkonu (pokud se bude dodávat elektrická energie do sítě).

Na základě projektu se získají i stanoviska orgánů státní správy (hygiena, hasiči, životní prostředí) a správců sítí (ČEZ nebo EON, vodárny, plynárny, Telefonica O2). Podklady pro zpracování projektu poskytne dodavatel kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotky o tepelném výkonu 0,2 MW - 5 MW se považují za střední zdroje znečištění ovzduší a povolení k jejich stavbě a uvedení do provozu vydává odbor životního prostředí místně příslušného krajského úřadu na základě odborného posudku zpracovaného autorizovanou osobou (toto povolení nenahrazuje stavební povolení!).

U kogeneračních jednotek větších výkonů umístěných v zástavbě je také nutno počítat s tím, že hygienické stanice mohou požadovat měření hluku.

Pro malé kogenerační jednotky umístěné v kotelnách, k nimž se nemusí zřizovat plynová přípojka (nemění se topné médium), nemění se odvod spalin a nedělají se žádné stavební úpravy, není nutno vyřizovat stavební povolení ani ohlášení stavby.

Zkušební provoz / kolaudace

Na základě stavebního povolení se může nainstalovat kogenerační jednotku. K jejímu spuštění se však potřebuje požádat stavební odbor o povolení zkušebního provozu nebo o kolaudaci. Pro povolení kolaudace nebo zkušebního provozu je nutná revize plynového zařízení, revize elektroinstalace a doklady o splnění všech podmínek stavebního povolení.

Licence

Pro výrobu elektrické energie z kogenerace musí být vyřízena licence na výrobu elektrické energie. Tuto licenci vydává Energetický regulační úřad. Žádost o vydání licence lze stáhnout z internetových stránek Energetického regulačního úřadu.

K získání licence je potřeba mít:

1. Souhlas se zkušebním provozem nebo rozhodnutí o kolaudaci
2. Doložit vztah k majetku, tj. ke kogenerační jednotce (postačí faktura za kogenerační jednotku)
3. Určit osobu odpovědnou za licenci (tato osoba musí splnit požadavky na kvalifikaci a praxi dle zákona č. 458/2000 Sb., novela 91/2005)
4. Doložení revizní zprávy na plynové zařízení a elektroinstalaci.

Osvědčení o původu elektrické energie a tepla

Tímto osvědčením se prokazuje, že zdrojem energie je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. Osvědčení vydává Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Žádost o osvědčení lze stáhnout z internetových stránek MPO (www.mpo.cz - Energetika a suroviny - Energetická legislativa - Právní předpisy v elektroenergetice a teplárenství - Přílohy ke stažení).

Osvědčení o původu elektrické energie bude požadovat distributor elektrické energie, aby mohl vyplácet příspěvek na elektrickou energii vyrobenou v procesu kogenerace.

Registrace u operátora trhu s elektrickou energií

Výrobce elektrické energie se musí zaregistrovat u Operátora trhu s elektrickou energií, aby se stal registrovaným účastníkem trhu (RÚT). K registraci je potřeba číslo přidělené licence a vyplněný formulář typu A, který lze stáhnout na internetových stránkách Operátora trhu s elektrickou energií (www.ote-cr.cz - Účastníci trhu – Registrace a smlouvy).

Instalace elektroměru

Pro měření množství vyrobené elektrické energie musí být nainstalován elektroměr, který odpovídá vyhlášce č. 326/2005, a to i v případě, že se bude vyrábět elektrická energie jen pro vlastní spotřebu.

Smlouva na výkup silové elektrické energie

Tato smlouva se uzavírá tehdy, pokud se vyrobí více elektrické energie, než se využije pro spotřebu daného objektu. Pro prodej přebytečné energie do sítě se musí uzavřít smlouva s organizací, která obchoduje s elektrickou energií (např. EON, ČEZ, PRE a další).

Smlouva na úhradu příspěvku

Právo na příspěvek za elektrickou energii z kombinované výroby elektrické energie a tepla má vysoce účinná kogenerace podle zákona 458/2000 Sb. Příspěvek se vztahuje i na elektrickou energii nedodanou do sítě, tedy spotřebovanou přímo výrobcem. Kogenerace musí plnit kritéria vysoce účinné kogenerace podle vyhlášky MPO č. 439/2005, která byla novelizována vyhláškou č. 110/2008.

Pokud provozovatel splňuje všechna kritéria, má právo na příspěvek za elektrickou energii z vysoce účinné KVET dle cenového rozhodnutí ERÚ.

Výkaznictví

Provozovatel kogenerační jednotky je povinen podle velikosti výroby vést tyto měsíční, čtvrtletní či roční výkazy.

- měsíční výkaz o výrobě elektrické energie ze zdrojů kogenerace (vzor výkazu ve vyhlášce MPO 439/2005 Sb.)
- výkazy o výrobě elektrické energie pro Energetický regulační úřad (www.eru.cz - elektroenergetika - statistika)
- výkaz o spotřebě a výrobě energie pro Ministerstvo průmyslu a obchodu (www.mpo.cz - ministr a ministerstvo – resortní statistická zjišťování)
- výkaz pro Český statistický úřad (www.czso.cz - sběr dat a výkazy)

Kontrola

Všichni výrobci elektrické energie z kogenerace musí dodržovat platnou legislativu. Kontrolu dodržování provádí Státní energetická inspekce. V případě nedodržení legislativy hrozí pokuta za bezdůvodné obohacení. [9]

4.2. Seznam zákonů a vyhlášek

- Energetický zákon 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů
- Zákon o hospodaření energií 406/2006 Sb.
- Vyhláška 439/2005 Sb., kterou se stanovují podrobnosti způsobu určení množství elektrické energie z kombinované výroby elektrické energie a tepla a určení množství elektrické energie z druhotných energetických zdrojů
- Vyhláška 110/2008 Sb., kterou se mění vyhláška 439/2005 Sb. Platnost od 1.7.2008
- Vyhláška 150/2001 Sb. MPO, která stanoví minimální účinnost užití energie při výrobě elektrické a tepelné energie

- Vyhláška 150/2007 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen
- Vyhláška 51/2006 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě
- Vyhláška 326/2005 Sb., kterou se stanoví podrobnosti měření elektrické energie a předávání technických údajů [9]

5. Údržba a servis kogeneračních jednotek

Tato kapitola se zabývá pravidelnou údržbou kogenerační jednotky. Popsány jsou nejčastěji prováděné úkony, kontrolované části a vzhledem k životnosti jednotlivých dílů a komponentů, jsou naznačeny doporučené intervaly výměny jednotlivých dílů.

5.1. Instalace kogenerační jednotky

Při přebírání jednotlivých komponent jednotky a souvisejícího zařízení na místě instalace, je nutno kontrolovat úplnost dodávky, se současnou vizuální kontrolou pro vyloučení zjevných vad, skryté vady po jejich projevení by měly být řešeny uplatněním záruky. Sankce vyplývající z pozdní dodávky by měly být specifikovány již při uzavírání smlouvy mezi dodavatelem a investorem.

Při montáži je nutno důsledně kontrolovat činnost montážní firmy. V případě, že výsledek neodpovídá projektu, dílo nepřebírat. Pro subdodávky (např. snímače, hlídače, komponenty související s vyvedením tepelného a elektrického výkonu) vybrat renomované firmy se spolehlivými výrobky.

V případě složitějších akcí s více dodavateli, je nutno jejich činnost vzájemně koordinovat, případně smluvně ošetřit a stanovit hlavního koordinátora.

V rámci instalace jednotky je také třeba upřesnit její servis a plánované opravy, určit jednoznačně subjekt, který je bude zajišťovat a příslušné lhůty servisu a oprav s určením doby provedení jednotlivých operací. Předem je nutno také specifikovat výši nákladů na servis a opravy (včetně předpokládaného růstu v období provozu kogenerační jednotky) a jakým způsobem budou kalkulovány a hrazeny.

Někteří dodavatelé kogeneračních jednotek provozují tzv. centrální dispečink, na který je možno instalovanou jednotku připojit. Tímto způsobem je zajištěno nepřetržité monitorování a diagnostika chodu jednotky. V takovém případě je možno nejen opravy jednotky řešit ve velmi krátkých lhůtách, ale v mnoha případech lze komplikovaným opravám i předcházet, na základě zjištění, že hodnota některé z měřených veličin je mimo povolený rozsah.

5.2. Zajišťování servisu kogenerační jednotky

Údržba, servisní práce a opravy mohou být zajištěny těmito způsoby:

- a) provozovatel zařízení platí dodavateli servisní činnosti smluvní poplatky vztažené buď k provozním hodinám zařízení, nebo k vyrobenému množství elektrické energie, za to mu dodavatel zajišťuje plánované činnosti i neplánované opravy
- b) dodavatel provádí plánované činnosti i neplánované opravy na základě objednávek provozovatele v předem stanovené lhůtě a za cenu předem dohodnutou za každý úkon

- c) provozovatel si organizuje a zajišťuje servisní a opravárenskou činnost sám

V případě, že servisní činnost není zajišťována provozovatelem, je třeba posoudit vybavení servisní sítě dodavatele se zřetelem na kvalitu a rychlost provedení jednotlivých úkonů.

Servis zahrnuje veškerou servisní péči o kogenerační jednotky. Jde o komplexní rozsah servisních služeb od provádění pravidelných činností, přes odstraňování nahodilých poruch, provádění běžných a generálních oprav až po dálkové monitorování jednotek a poradenskou službu.

Servisní činnosti jsou zajišťovány prostřednictvím servisních posádek rozmístěných v daném území. Veškerá servisní činnost je řízena zkušenými pracovníky z jednoho místa, a to z centrálního dispečinku.

Servis zabezpečuje pro zákazníky tyto služby:

- Montáž a uvedení kogenerační jednotky do provozu - po vyrozumění zákazníkem provedou pracovníci servisního střediska připojení kogenerační jednotky a postupně ji uvedou do provozu.
- Záruční servis - odstranění nahodilých závad kogenerační jednotky v záruční době.
- Smlouva o servisní činnosti - provozovatel kogenerační jednotky si může formou pravidelných měsíčních poplatků, vypočítaných podle typu kogenerační jednotky a množství předpokládané vyrobené elektrické energie, platit prováděné služby a zároveň si spořit na budoucí servisní činnosti specifikované ve smlouvě.
- Pravidelný servis - pravidelným servisem se rozumí veškeré práce uvedené v "Návodu k obsluze a údržbě kogenerační jednotky" pod názvem technická ošetření.
- Pozáruční servis - je organizován stejně jako u servisu pravidelného. Rozsah prací je stanoven v objednávce.
- Nadstandardní služby - jsou činnosti jako např. servisní prohlídky nouzových zdrojů, elektrických zdrojových soustrojí, revize plynových a elektrických celků a prohlídky pomocných zařízení, u nichž je třeba provádět prohlídky v pravidelných, např. ročních intervalech.
- Opravy - zajištění a provádění běžných i generálních oprav všech typu kogeneračních jednotek. Provedení diagnostických prohlídek spalovacích motorů pomocí endoskopu, repase použitých hlav spalovacích motorů, apod.
- Prodej náhradních dílů - je identicky podobný jako v běžné obchodní síti. Aktuální informace o dodání náhradních dílů jsou uváděny na příslušných kontaktech. [7]

5.3. Trvalý provoz kogenerační jednotky

Je nutno ověřit, zda firma uvádějící zařízení do provozu disponuje náležitě proškolenými a zkušenými pracovníky. Vyžádat si reference z předchozích akcí a sestavit podrobný časový plán vyzkoušení díla a zaškolení obsluh. Pro řádné uvedení do provozu a odzkoušení všech provozních situací, je nutno ze strany investora rezervovat dostatečné časové období.

Kromě vlastní kogenerační jednotky se mohou projevit závady na souvisejícím zařízení – např. nedostatečná funkce chladicích okruhů (vyvedení tepelného výkonu), vysoký protitlak spalin a atd. Je nutno také zajistit proplach jednotlivých vodních okruhů před jejich připojením na rozvod tepla. Pro napouštění okruhů je třeba zajistit účast odpovědného zástupce dodavatele kogenerační jednotky.

Parametry kogenerační jednotky prověřit garančním měřením, včetně seřízení motoru na požadovanou úroveň emisí ve spalinách, pro předpokládaný pracovní režim motoru. Po úplném odzkoušení provozu zařízení ve všech provozních stavech, které jsou v trvalém provozu předpokládány, je třeba vypracovat podrobné provozní předpisy s určením odpovědnosti jednotlivých osob za správný chod zařízení a dodržování lhůt a rozsahu servisu a plánovaných oprav.

Provozovatel jednotky musí zajistit, aby podmínky trvalého provozu kogenerační jednotky respektovaly ustanovení v její technické specifikaci, která je nedílnou součástí smlouvy mezi dodavatelem a provozovatelem.

5.4. Běžná údržba kogenerační jednotky

Údržba kogenerační jednotky je popsána pro plynový motor od výrobce Deutz. U jiného výrobce motoru se intervaly činností mohou značně odlišovat.

Servisní intervaly údržby se ale také mohou měnit v závislosti na kvalitě plynu, okolní podmínky pro provoz jednotky, atd.

Popis jednotlivých činností se rozdělí zvlášť pro plynový motor a údržbu kontejneru. [6]

Údržba plynového motoru

Po každých 2000 provozních hodinách se provádí:

- vizuální kontrolu zařízení
- test a funkční chod
- kontrola a seřízení ventilů
- údržba baterie
- kontrola ústrojí regulátoru otáček
- výměna motorového oleje (u menších výkonů a malé náplně i dříve)
- výměna vložky filtru mazacího oleje
- výměna filtru nasávaného vzduchu

Po každých 4000 provozních hodinách:

- endoskopie spalovacích prostor
- údržba odvětrání klikové skříně
- výměna zapalovacích svíček
- kontrola okamžiku zapálení (předstihu)

Po každých 12000 provozních hodinách:

- kontrola a vyčištění (popřípadě oprava nebo repase) turbodmychadla

Po každých 16000 provozních hodinách:

- kontrola upevnění motoru
- kontrola pastorku startéru a ozubeného věnce
- výměna nebo oprava hlav válců
- čištění spalovacích prostor
- kontrola chladiče směsi
- čištění mísiče směsi

Po každých 32000 provozních hodinách – střední oprava motoru:

- výměna vložek válců
- kontrola vůle klikové a vačkové hřídele
- kontrola pístů a výměna pístních kroužků

Po každých 64000 provozních hodinách – generální oprava motoru:

- výměna zdvihátek ventilů, pístu a ojnic
- proměření klikové hřídele
- kontrola hnacího soukolí a rozvodů, atd.

Údržba kontejneru – technické ošetření

Každé 2000 provozních hodin:

- kontrola těsnosti okruhů, spojů, čerpadel, kontrola tlaku
- kontrola těsnosti spalínovou
- kontrola nebo výměna plynového filtru
- kontrola startovací soustavy (startér, baterie, nabíječky, kontrola silových spojů)
- kontrola tepelných izolací
- kontrola rozvaděčů a elektroinstalace

Každých 10000 provozních hodin:

- kontrola těsnosti plynové trasy
- vyčištění spalínového výměníku
- provedení komplexní zkoušky ochran
- zkouška na jmenovitém výkonu

6. Metodika pro optimální výběr jednotky podle typu odběratele

Předkládaná metodika je určena pro posuzování správnosti a přiměřenosti instalace plynové kogenerační jednotky pro společnou výrobu tepla a elektrické energie do průmyslových, podnikatelských nebo vybraných komunálních komplexů (městské zdroje energie, nemocnice, obchodní domy, hotely), jak při rozšíření stávajícího energetického zdroje, tak při výstavbě zdroje nového.

Dle metodiky je již instalovaná nebo zamýšlená kogenerační jednotka hodnocena ne jako samostatný subjekt, ale v souvislosti s ostatními zdroji energie celého komplexu, do kterého byla nebo bude instalována.

Metodika výběru je zpracována pro plynové kogenerační jednotky s plynovým motorem, s plynovou turbínou, a kombinaci plynových jednotek s parním turbosoustrojím tzv. jednotky paroplynové.

Je uveden způsob hodnocení vhodného dimenzování výkonu kogenerační jednotky podle podmínek objektu, do kterého je instalována a způsob ekonomického (hledisko provozovatele) a ekologického (hledisko celospolečenské) vyhodnocení provozu kogenerační jednotky.

Společná výroba tepla a elektrické energie v kogeneračních zdrojích zajišťuje podstatně vyšší účinnost přeměny paliva na tyto dvě formy využitelné energie při porovnání s oddělenou výrobou tepla ve výtopnách a výrobou elektrické energie v kondenzačních elektrárnách. Rozšíření instalací kogeneračních jednotek do vhodných objektů, do kterých zajistí dodávku tepla i elektrické energie bez ztrát v rozvodech, se tedy pozitivně projeví snížením výroby elektrické energie v kondenzačních elektrárnách pracujících s nízkou účinností a spalující sirnaté uhlí s nízkou výhřevností.

Z uvedených důvodů je tedy nanejvýš nutné navrhovat kogenerační jednotky do vybraných vhodných objektů tak, aby bylo co nejvíce využito jejich pozitivních provozních účinků.

6.1. Analýza energetického hospodaření komplexu

- podíl dodávky tepla na jednotlivých teplotních úrovních a teplotních úrovních:
 - na prahu zdroje
 - u konečných spotřebičů
- podíl poplatků za maxima odběru elektrické energie v celkové platbě za dodávku elektrické energie
- vzájemné porovnání ročního harmonogramu spotřeby tepla a elektrické energie - maximální a minimální hodnoty tepelných a elektrických příkonů v měsících (tepelné příkony rozdělit dle druhu a teploty teplotních médií)
- poměr příkonů denního průběhu spotřeby tepla a elektrické energie v typických dnech v topném, přechodném a letním období

6.2. Specifikace kogenerační jednotky

Základní údaje o kogenerační jednotce:

- typ, výrobce
- jmenovitý elektrický výkon
- jmenovitý tepelný výkon
- jmenovitá elektrická účinnost
- jmenovitá tepelná účinnost
- druh spalovaného plynu, výhřevnost
- typ motoru, turbíny
- hmotový tok spalin
- typ alternátoru, napětí
- typ spalovacího kotle
- druh, tlak a teplota teplotního média
- spotřeba plynu za rok
- roční výroba elektrické energie
- roční výroba tepla

Doplňující údaje charakterizující provoz kogenerační jednotky:

- umístění kogenerační jednotky
- způsob zapojení kogenerační jednotky do energetického systému komplexu, řízení a regulace jejího provozu

- provozní doba, způsob provozu
- průměrná provozní elektrická a tepelná účinnost
- snížení maxim odběru elektrické energie po instalaci kogenerační jednotky
- investiční náklady na dodávku a montáž
- investiční náklady na vyvedení elektrického a tepelného výkonu, přípojky plynu, stavebních úprav a dalších vyvolaných úprav (např. instalace akumulátoru tepla)
- provozní náklady bez paliva (výměna oleje, svíček, střední a generální opravy atd.)

6.3. Analýza provozu kogenerační jednotky

Ukazatele pro analýzu:

- podíl spotřeby zemního plynu pro kogenerační jednotku na celkové spotřebě plynu pro komplex
- podíl odpadních topných plynů využitých v kogenerační jednotce k jejich celkovému množství vznikajícímu při provozu komplexu
- podíl instalovaného tepelného a elektrického výkonu jednotky na celkovém instalovaném tepelném a elektrickém výkonu zdrojů komplexu (včetně kogenerační jednotky)
- podíl na celkové dodávce tepla (na všech teplotních úrovních) pro komplex
- podíl na dodávce tepla na teplotní úrovni, na které dodává teplo kogenerační jednotka
- podíl využitelného tepla z celkového tepla vyrobeného kogenerační jednotkou
- podíl na celkové dodávce elektrické energie pro komplex
- podíl vykupované elektrické energie do sítě z celkové výroby elektrické energie kogenerační jednotkou
- časové roční využití instalovaného elektrického i tepelného výkonu kogenerační jednotky
- snížení nákladů na dodávku tepla a elektrické energie pro komplex po instalaci kogenerační jednotky

Výše uvedené ukazatele stanovit:

- pro daný instalovaný nebo navržený výkon kogenerační jednotky při stávajícím rozdělení dodávky tepla pro komplex na jednotlivých teplotních úrovních
- na základě odborného odhadu pro vyšší výkon kogenerační jednotky (pouze v případě instalace kogenerační jednotky s plynovým motorem), v případě zvýšené dodávky tepla pro komplex na úrovni teplé nebo horké vody v důsledku:
 - rekonstrukce parního vytápění na teplovodní
 - rekonstrukce kompresorového chlazení na absorpční

6.4. Volba druhu, dimenzování a řízení kogenerační jednotky

- vhodný druh kogenerační jednotky (s motorem nebo s turbínou)

Ve výkonové kategorii do cca 5 MW elektrického výkonu kogenerační jednotky je nutno dát přednost vždy jednotce s plynovým motorem v důsledku vyšší elektrické účinnosti a nižším měrným investičním nákladům.

Aplikace těchto jednotek je však podmíněna požadavkem dodávky tepla v teplé nebo horké vodě případně v kombinaci teplé vody a páry - součástí instalace kogenerační jednotky s plynovým motorem je tedy v některých případech také vynucená rekonstrukce dodávky tepla.

b) vhodné dimenzování výkonu kogenerační jednotky

Podle druhu komplexu s odpovídajícím charakterem dodávky tepla a elektrické energie by kogenerační jednotka měla být výkonově dimenzována vzhledem k následujícím zásadám:

- v komplexech s dodávkou tepla (městské výtopny a teplárny) dle ročního diagramu odběru tepla je stanoven tepelný výkon jednotky tak, aby byl využit minimálně cca 4000 hod/rok, elektrický výkon daný poměrem elektrické a tepelné účinnosti jednotky (kromě krytí vlastní malé spotřeby) je využit převážně při dodávce elektrické energie do sítě
- v komplexech ostatních dle poměru elektrického a tepelného výkonu jednotky jako nejvhodnější kompromis s přihlédnutím k poměru spotřeby elektrické energie a tepla (poměr ročních a denních průběhů spotřeby) s cílem co nejvyššího:
 - snížení dodávky elektrické energie ze sítě
 - snížení maxim odběru elektrické energie
 - časového využití instalovaného výkonu jednotky
 - využití vyrobeného tepla

c) řízení provozu kogenerační jednotky

Provoz kogenerační jednotky musí být nadřazen provozu ostatních zdrojů energie tak, aby byl co nejvíce časově využit její elektrický i tepelný výkon (kromě období nízkého tarifu, kdy by vznikl záporný finanční přínos z výroby elektrické energie).

d) umístění a šíření hluku kogenerační jednotky

Umístění a šíření hluku je uvažováno vzhledem k ostatním zdrojům energie z hlediska jejich propojení. Přihlížíme k dispozičním možnostem a na omezení šíření hluku při provozu jednotky.

6.5. Příklady instalace kogenerační jednotky do různých komplexů

Kombinace průběhů spotřeb tepla a elektrické energie jsou v příkladech zvoleny tak, aby z hlediska poměru ročního a denního průběhu spotřeby tepla a elektrické energie, jejich absolutní výše, druh a teplota teplotonosného media, obsáhly větší počet reálných kombinací konkrétních podmínek v konkrétních komplexech, kam byla, nebo má být kogenerační jednotka instalována.

Vzhledem k reálným možnostem získání vstupních údajů konkrétního komplexu jsou příklady správného dimenzování kogenerační jednotky odvozeny z ročních diagramů spotřeby tepla a elektrické energie v jednotlivých měsících (průměrné hodnoty tepelných a elektrických příkonů v jednotlivých měsících) a z denních průběhů spotřeby tepla a elektrické energie v typických dnech v zimním, přechodném a letním období.

Není tedy dimenzování kogenerační jednotky odvozeno z ročního diagramu trvání tepelného příkonu, neboť jeho konstrukce (zvláště v komplexech s technologickou spotřebou tepla) je značně pracná a v některých případech pro nedostatek podkladů nereálná.

Pro každý příklad komplexu je provedena:

- stručná analýza vstupních údajů
- navržen vhodný druh a instalovaný výkon kogenerační jednotky
- určeno roční časové využití instalovaného výkonu kogenerační jednotky
- určen stupeň využití tepla vyrobeného v kogenerační jednotce

6.5.1. Veřejné zdroje

Veřejnými zdroji tepla jsou lokální výtopny a teplárny. V některých případech je teplo dodáváno nejen pro byty, ale také pro průmyslové závody, nemocnice a jiné subjekty. Pro byty je teplo obvykle dodáváno v teplé nebo horké vodě (zbývající systémy s parními rozvody budou dříve či později rekonstruovány na teplovodní), ostatní spotřebitelé tepla však mohou teplo požadovat i v páře na vyšší teplotě.

V případě tepláren je elektrická energie dodávána většinou do sítě (kromě krytí vlastní spotřeby a případné přímé dodávky do subjektů v sousedství teplárny). Dimenzování instalovaného výkonu kogenerační jednotek do veřejných zdrojů je tedy odvozeno pouze od požadavku na dodávku tepla. Je zde uveden příklad malé městské výtopny.

Příklad malé městské výtopny

Specifikace spotřeby energie:

Dodávka tepla je během dne rovnoměrná s ranními a večerními špičkami (zvýšený odběr teplé užitkové vody), během roku velmi výrazný pokles v letním období.

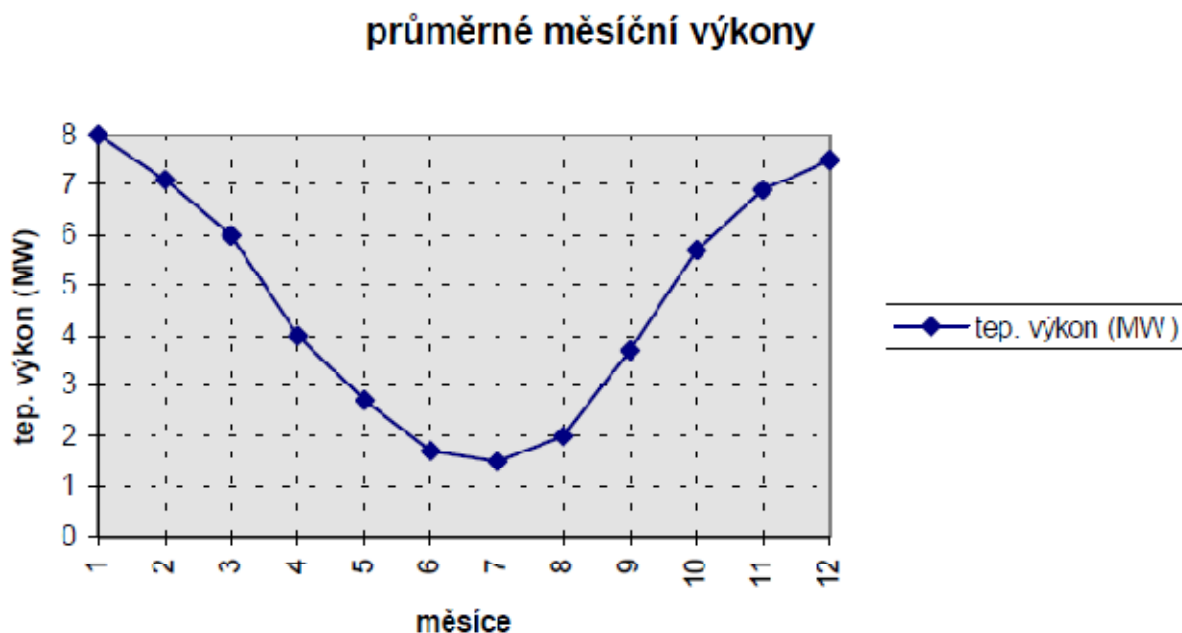
Spotřeba elektrické energie v porovnání s tepelným výkonem je velmi nízká, pouze pro provoz oběhových čerpadel a ostatních drobných spotřebičů.

Vstupní údaje:

Základní vstupní údaje malé městské výtopny jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tab. 6 – Vstupní údaje malé městské výtopny [5]

Instalovaný tepelný výkon	14 MW
Roční dodávka tepla	100 TJ/r
Tepelný výkon max./min.	9,5 MW/1,2 MW
Elektrický příkon max.	0,1 MW
Teplonosné medium	Voda, 90/70 °C



Graf č. 1 – Roční diagram odběru tepelného výkonu malé městské výtopny [5]

V grafu č. 1 je vidět průměrný tepelný výkon v jednotlivých měsících během celého roku – roční diagram odběru tepelného výkonu.

Teplo je ze zdroje dodáváno v teplé vodě, pokles tepelného výkonu v letním období je značný v důsledku dodávky tepla jen pro přípravu teplé užitkové vody. Tepelný výkon zdroje je nízký, vlastní spotřeba elektrické energie zdroje je ještě řádově nižší.

Návrh kogenerační jednotky:

- 1) Vzhledem k dodávce tepla v teplé vodě je možno instalovat kogenerační jednotku s plynovým motorem.
- 2) V důsledku velmi nízké vlastní spotřeby elektrické energie komplexu je kogenerační jednotka dimenzována dle průběhu odběru tepla, elektrická energie vyrobená v kogenerační jednotce bude využita převážně pro dodávku do sítě (kromě krytí vlastní spotřeby).
- 3) Na základě ročního průběhu odběru tepla je možno doporučit kogenerační jednotku se jmenovitým tepelným výkonem cca 2 MW a elektrickým výkonem cca 1,5 MW.
- 4) Provoz jednotky bude upřesněn po dohodě s lokální distribuční společností, která bude vykupovat vyrobenou elektrickou energii, nejpravděpodobnější je provoz v době 6:00 – 22:00 (včetně víkendů), tzn. v období špičkového a vysokého tarifu elektrické energie.
- 5) V této době by byla jednotka provozována na jmenovitý výkon v zimním a přechodném období a na částečně redukováný výkon v letním období dle spotřeby tepla - vyrobené teplo bude tedy 100% využito.
- 6) Při tomto způsobu provozu jednotky by bylo dosaženo využití jejího jmenovitého výkonu vyšší než 5 000 h/rok.
- 7) Alternativně lze instalovat dvě kogenerační jednotky uvedeného výkonu o celkovém elektrickém výkonu 3 MW a tepelném výkonu 4 MW.
- 8) Provoz těchto jednotek se předpokládá také pouze v denní době, v zimním a přechodném období by byly provozovány obě jednotky současně, v letním období jen jedna jednotka.
- 9) Pro úplné využití vyrobeného tepla by přebytečné vyrobené teplo v denní době v přechodném a letním období bylo využito v noci - v tomto případě je nutno tedy ke dvěma kogeneračním jednotkám instalovat akumulátor tepla, pro dané podmínky by jeho objem činil cca 800 m³.
- 10) Za uvedených podmínek by se využití instalovaného výkonu dvou kogeneračních jednotek snížilo na cca 4 500 h/rok - ovšem s podstatně vyšším podílem na dodávce tepla v porovnání s jednou kogenerační jednotkou.
- 11) Výběr z obou alternativ je možno provést až po ekonomické analýze dle podmínek pro výkupní cenu vyrobené elektrické energie.

6.5.2. Průmysl

Spotřeba tepla a elektrické energie může být různá v jednotlivých typech průmyslových závodů z hlediska harmonogramu odběru obou druhů energií, poměru spotřeby tepla a elektrické energie, druhu a teploty teplotnosného média.

Volba druhu a hlavně dimenzování výkonu kogenerační jednotky je vždy zcela podřízena základnímu faktu - výroba jen takového množství elektrické energie, které závod v reálném čase dokáže spotřebovat, protože finanční zhodnocení této elektrické energie je podstatně vyšší, než v případě jejího prodeje do sítě. Pro zajištění příznivé ekonomie provozu kogenerační jednotky musí být současně v co nejvyšší míře využito i tepelného výkonu jednotky.

Dimenzování instalovaného výkonu kogeneračních jednotek do průmyslových závodů je tedy kompromisem mezi oběma zmíněnými požadavky. Jako příklady zde uvedeme chemický a strojírenský závod.

Příklad chemického závodu

Specifikace spotřeby energie:

Odběr tepla je během dne vcelku rovnoměrný, během roku s nižším propadem v letním období v důsledku vysoké spotřeby tepla na technologii - obvykle na vyšší teplotní úrovni v páře, v některých případech je teplo dodáváno přímým spalováním paliva ve formě spalin - to umožňuje instalovat kogenerační jednotku s plynovou turbínou s přímým využitím spalin z turbíny (i když se jedná o kogeneraci, odpadá nutnost instalace spalínového kotle).

Odběr elektrické energie je během dne i roku vcelku rovnoměrný, poměr odběru elektrické energie k odběru tepla je obvykle střední až vysoký.

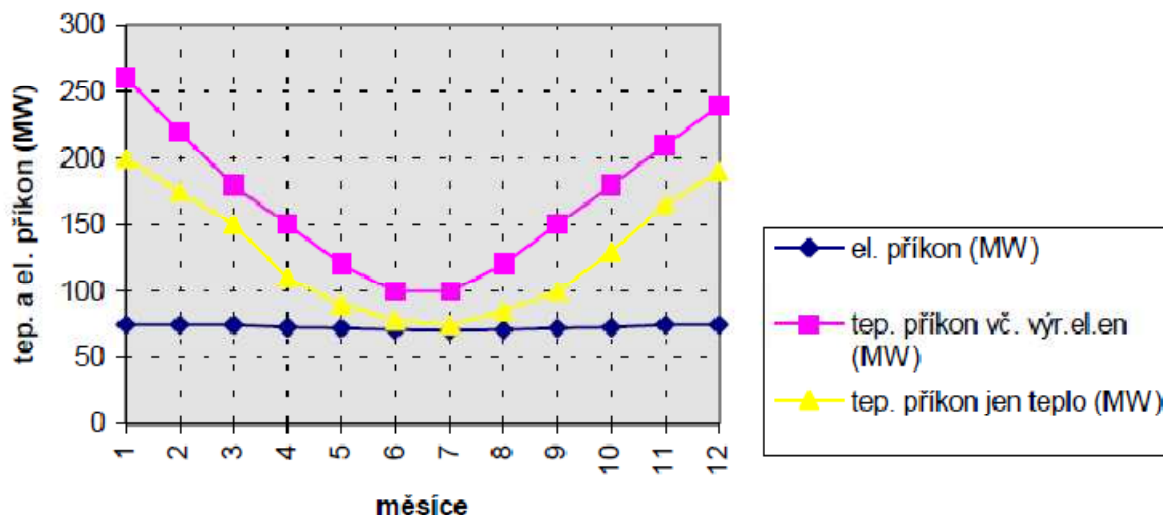
Vstupní údaje:

Základní vstupní údaje velkého chemického závodu jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tab. 7 – Vstupní údaje velkého chemického závodu [5]

Instalovaný elektrický výkon	66 MW
Roční spotřeba tepla	4200 TJ/r
Roční spotřeba elektrické energie	620 GWh/r
Elektrický příkon max./min.	80/65 MW
Tepelný příkon max./min.	260/100 MW
Odběr elektrické energie za směnu v zimě/létě	75/70 MW
Teplonosné medium, teplota - zdroj	pára, 450-540 °C
Teplonosné medium, teplota - spotřebiče	pára, 200-300 °C

průměrné měsíční příkony



Graf č. 2 – Roční diagram průměrných měsíčních příkonů velkého chemického závodu [5]

V grafu č. 2 jsou vidět průměrné příkony v jednotlivých měsících během celého roku. Tento chemický závod má vysokou spotřebu tepla (v konečné spotřebě v páře), i elektrické energie (částečně kryta vlastní výrobou), vysoký podíl spotřeby elektrické energie vůči spotřebě tepla - vyšší průměrná

cena elektrické energie indikuje vyšší podíl platby za maxima odběru, tzn. méně vyrovnaný odběr elektrické energie.

Nízký pokles odběru tepla v letním období je důsledkem výrazné technologické spotřeby tepla. Elektrický příkon závodu, který celodenně i celoročně činí přibližně 75 MW je hrazen v zimním období z cca 30 MW a v letním období z cca 10 MW vlastní výrobou elektrické energie (protitlakové a odběrové kondenzační turbíny) - ze sítě je nutno tedy dodávat elektrický výkon v zimě cca 45 MW a v létě cca 65 MW.

Návrh kogenerační jednotky:

- 1) Vzhledem k vysokému tepelnému příkonu závodu v páře je možno instalovat pouze kogenerační jednotku s plynovou turbínou, která by spolupracovala se stávajícím parním zdrojem elektrické energie.
- 2) Je možno navrhnout kogenerační jednotku s plynovou turbínou o jmenovitém elektrickém výkonu cca 35 MW a tepelném výkonu cca 45 MW - v zimním období by celkový elektrický výkon vlastního zdroje (kogenerační jednotka a parní soustrojí) činil cca 65 MW, v letním období cca 45 MW, roční využití takto dimenzované kogenerační jednotky by bylo 8 000 hodin se 100 % využitím vyrobeného tepla - kogenerační jednotka by tvořila se stávajícími parními turbogenerátory paroplynovou jednotku.
- 3) Navržený výkon kogenerační jednotky je nutno podrobit ekonomické analýze jako kompromis mezi výrobou elektrické energie v kogenerační jednotce a stávajícího turbosoustrojí - pára z kogenerační jednotky (přiváděná do turbosoustrojí společně s párou z kotlů pro jeho co nejvyšší výkon) bude dražší, než pára ze stávajících kotlů spalující převážně uhlí, navíc zajištění vyšších parametrů páry z kogenerační jednotky pro možnost využití této páry v turbosoustrojí, snižuje celkovou účinnost jednotky a vyžaduje instalaci přehřívacího hořáku pro zvýšení teploty spalin z plynové turbíny.

Příklad středně velkého strojírenského závodu

Specifikace spotřeby energie:

Odběr tepla je během dne nižší ve II. směně a III. směně, během roku s vysokým propadem v letním období v důsledku nízké nebo nulové spotřeby tepla na technologii.

Odběr elektrické energie během dne s poklesem ve II. a III. směně (u dvousměnného provozu velmi výrazným), během roku s nižším až výrazným poklesem v letním období, poměr odběru elektrické energie k odběru tepla je od nízkého až po vysoký.

Vstupní údaje:

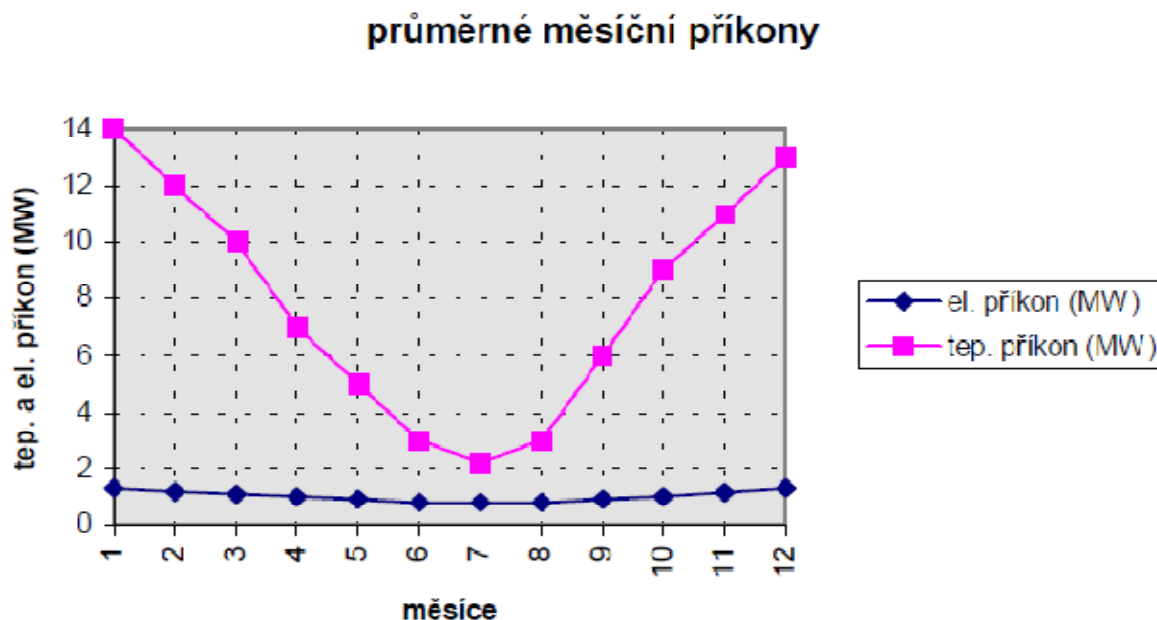
Základní vstupní údaje středně velkého strojírenského závodu jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tab. 8 – Vstupní údaje středně velkého strojírenského závodu [5]

Instalovaný elektrický výkon	0 MW
Roční spotřeba tepla	67 TJ/r
Roční spotřeba elektrické energie	3,7 GWh/r
Elektrický příkon max./min.	1,6/0,05 MW
Tepelný příkon max./min.	21/2,2 MW
Odběr elektrické energie za směnu v zimě (1. /2. /3. směna)	1,3/0,8/0,3 MW
Odběr elektrické energie za směnu v létě (1. /2. /3. směna)	0,8/0,5/0,1 MW
Teplonosné medium, teplota - zdroj	pára, 250 °C
Teplonosné medium, teplota - spotřebiče	voda, 90/70 °C

V grafu č. 3 jsou vidět průměrné příkony v jednotlivých měsících během celého roku. Závod s velmi výrazným poklesem spotřeby tepla v letním období v důsledku nulové technologické spotřeby tepla, teplovodní vytápění s parními rozvody a výměníky pára/voda na objektech.

Nízký elektrický příkon, navíc se značným poklesem ve II. směně a zcela nepatrným odběrem ve III. směně (dvousměnný provoz). Vysoká průměrná cena elektrické energie v dané sazbě a značný podíl maxim odběru, tzn. značně nevyrovnaný odběr elektrické energie.



Graf č. 3 – Roční diagram průměrných měsíčních příkonů středně velkého strojírenského závodu [5]

Návrh kogenerační jednotky:

- 1) Vzhledem k poklesu odběru elektrického výkonu ve II. směně je možno doporučit kogenerační jednotku s elektrickým výkonem cca 0,7 MW a tepelným výkonem cca 0,9 MW.
- 2) S tímto výkonem lze uvažovat pouze kogenerační jednotku s plynovým motorem a tedy s dodávkou tepla v teplé vodě - pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody.
- 3) Podmínkou využití tepla z jednotky je ovšem instalace teplovodních rozvodů mezi kogenerační jednotkou a vytápěnými objekty.
- 4) Kogenerační jednotku o navrženém výkonu by bylo možno provozovat v I. a II. směně celoročně (v letním období na redukováný výkon), tomuto provozu odpovídá využití instalovaného výkonu cca 4000 h/rok, vyrobené teplo by bylo téměř 100% využito.

6.5.3. Terciální sféra

V terciální sféře je možno za vhodný druh komplexů pro instalaci kogenerační jednotky považovat nemocnice, obchodní domy a hotely.

Spotřeba tepla a elektrické energie v těchto komplexech, z hlediska harmonogramu odběru a poměru spotřeby obou druhů energie, může být značně různorodá podle velikosti a vybavení komplexu (např. podíl a druh klimatizace, apod.)

Volba druhu a hlavně dimenzování výkonu kogenerační jednotky je ale vždy zcela podřízena základnímu faktu - výroba jen takového množství elektrické energie, které komplex v reálném čase dokáže spotřebovat, protože finanční zhodnocení této elektrické energie je opět podstatně vyšší, než v

případě jejího prodeje do sítě. Pro zajištění příznivé ekonomie provozu kogenerační jednotky musí být současně v co nejvyšší míře využito i tepelného výkonu jednotky.

Dimenzování instalovaného výkonu kogeneračních jednotek do komplexů terciální sféry je tedy kompromisem mezi oběma zmíněnými požadavky podobně jako v průmyslové oblasti. Uvedeme příklad velké nemocnice.

Příklad velké nemocnice

Specifikace spotřeby energie:

Odběr tepla během dne je rovnoměrný včetně sobot a nedělí, relativně nižší pokles spotřeby v letním období v důsledku vyšší spotřeby teplé užitkové vody a technologických parních odběrů (prádelsna, sterilizace) nebo případně chladicích jednotek pro klimatizaci.

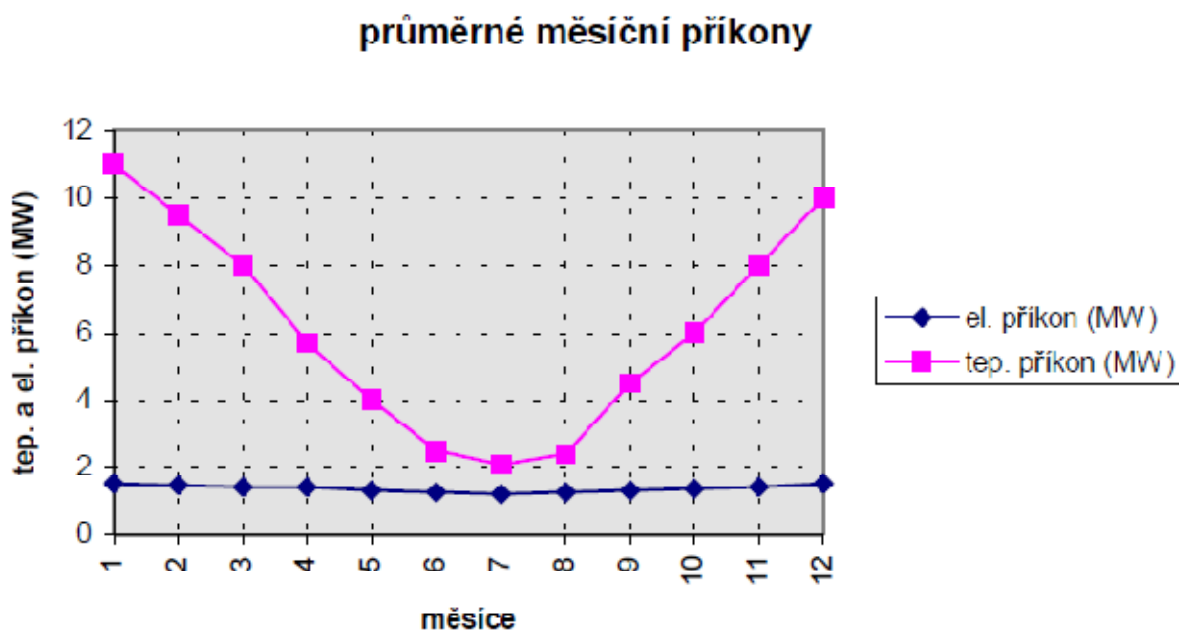
Odběr elektrické energie včetně sobot a nedělí, v případě klimatizace s kompresorovými chladicími jednotkami, může být v letním období vyšší než v zimě.

Vstupní údaje:

Základní vstupní údaje velké nemocnice jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tab. 9 – Vstupní údaje velké nemocnice [5]

Instalovaný elektrický výkon	0 MW
Roční spotřeba tepla	190 TJ/r
Roční spotřeba elektrické energie	6,1 GWh/r
Elektrický příkon max./min.	1,5/0,4 MW
Tepelný příkon max./min.	17/2,1 MW
Odběr elektrické energie za směnu v zimě (1. /2. /3. směna)	1,5/1,1/0,7 MW
Odběr elektrické energie za směnu v létě (1. /2. / 3. směna)	1,2/0,8/0,5 MW
Teplonosné medium, teplota - zdroj	pára, 230 °C
Teplonosné medium, teplota - spotřebiče	pára 150 °C, voda 90 °C



Graf č. 4 – Roční diagram průměrných měsíčních příkonů středně velké nemocnice [5]

V grafu č. 4 jsou vidět průměrné příkony v jednotlivých měsících během celého roku. Nemocnice má vyšší propad spotřeby tepla v letním období - nižší podíl technologické spotřeby tepla v páře, spotřeba tepla pro vytápění v teplé vodě (výměníky pára - voda na vytápěných objektech).

Nižší je elektrický příkon, podstatnější pokles odběru elektrické energie v II. a III. směně. Vysoká průměrná cena elektrické energie v dané sazbě, značný podíl maxim odběru, tzn. nevyrovnaný odběr elektrické energie.

Návrh kogenerační jednotky:

- 1) V důsledku nízkého elektrického příkonu je možno instalovat pouze kogenerační jednotku s plynovým motorem a s dodávkou tepla v teplé vodě.
- 2) Vzhledem k nízkému odběru elektrické energie ve III. směně je možno doporučit kogenerační jednotku o elektrickém výkonu cca 0,7 MW a tepelném výkonu cca 1 MW, jednotka by byla provozována celoročně jen v I. a II. směně.
- 3) Využití instalovaného výkonu jednotky při tomto způsobu provozu by bylo cca 5 500 hod/rok, využití vyrobeného tepla pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody by bylo přes 90 %.
- 4) Podmínkou instalace navržené kogenerační jednotky pro možnost využití tepelného výkonu jednotky na teplotní úrovni 90/70 °C je instalace teplovodních rozvodů mezi jednotkou a vytápěnými objekty.
- 5) Spotřeba elektrické energie ve III. směně je tak nízká, že při navrženém provozu jednotky je možno snížit stávající technické i čtvrt hodinové maximum o instalovaný elektrický výkon kogenerační jednotky (0,7 MW) bez rizika, že při odstavení jednotky z provozu ve III. směně budou snižovaná maxima překročena.

7. Ekonomická kalkulace pro výrobu elektrické energie, zjednodušený výpočet návratnosti

Ekonomická kalkulace a výpočet návratnosti bude proveden pro kogenerační jednotku s plynovým motorem. Nejprve budou stanoveny výkupní ceny, příspěvky a bonusy za elektrickou energii dle cenového rozhodnutí ERÚ. Poté bude proveden zjednodušený výpočet návratnosti vložených investic, ve kterém se nebude uvažovat s růstem cen energií, inflací, popřípadě změn výkupních cen za elektrickou energii.

7.1. Výkupní ceny elektrické energie

- Právo na příspěvek má vysoce účinná kogenerace podle zákona 458/2000 Sb. Ve znění zákona 670 z roku 2005. Kogenerace je řešena zejména v § 32.
- Kogenerace nad 1 MW musí plnit kritéria vysoce účinné kogenerace podle vyhlášky MPO č. 150 ze dne 12. dubna 2001.
- Malá kogenerace do instalovaného výkonu do 1 MW tato kritéria plní ze zákona automaticky.
- Pokud provozovatel splňuje výše uvedená hlavní kritéria, má právo na příspěvek za elektrickou energii z vysoce účinné KVET dle cenového rozhodnutí ERÚ č.4/2009.
- Provozovatel musí být držitelem licence na výrobu elektrické energie na Energetickém regulačním úřadu, registrovat se u OTE a podepsat s distributorem smlouvu o podpoře výroby elektrické energie.
- Výrobce s instalovaným výkonem nad 100 kW je povinen předávat provozovateli distribuční soustavy "Měsíční výkaz o spotřebě elektrické energie". [10]

Aktuální výše příspěvků, zelených bonusů a výkupních cen pro elektrickou energii z kogenerace je následující [10]:

Ceny elektrické energie – kogenerace **zemní plyn** do 1 MW – Kč / MWh:

	Příspěvek
Dodávka - 24 hodin denně	470
Dodávka - 12 hodin denně	1320
Dodávka - 8 hodin denně	1800

Ceny elektrické energie – kogenerace **zemní plyn** od 1 MW do 5 MW – Kč / MWh:

	Příspěvek
Dodávka - 24 hodin denně	390
Dodávka - 12 hodin denně	1010
Dodávka - 8 hodin denně	1320

Cena silové elektrické energie je smluvní a o její výši je nutno jednat s obchodníkem s elektrickou energií.

Výkupní ceny a zelené bonusy pro spalování **bioplynu, skládkového plynu, kalového plynu a důlního plynu** z uzavřených dolů – Kč / MWh jsou uvedeny v tabulce č. 10 :

Tab. 10 – Výkupní ceny a zelené bonusy ostatních plynů [10]

Datum uvedení do provozu	Zelené bonusy	Výkupní ceny
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF1 ^{*)}	3115	4120
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF2	2580	3550
Spalování skládkového plynu a kalového plynu z ČOV po 1. lednu 2006	1500	2470
Spalování skládkového plynu a kalového plynu z ČOV od 1. ledna 2004 do 31. prosince 2005	1820	2790
Spalování skládkového plynu a kalového plynu z ČOV před 1. lednem 2004	1930	2900
Spalování důlního plynu z uzavřených dolů	1500	2470

^{*)} Kategorie AF1 zahrnuje biomasu s původem v cíleně pěstovaných energetických plodinách. Kategorie AF2 zahrnuje veškerou jinou biomasu.

7.2. Zjednodušený výpočet návratnosti investic

Pro tento výpočet byla zvolena kogenerační jednotka firmy Tedom a palivo zemní plyn, doba provozu kogenerační jednotky je 12 hodin denně. [6]

Typ kogenerační jednotky: Tedom QUANTO D2000

Investice do kogenerační jednotky a příslušenství: $I_{KJ} = 21\,850\,000$ Kč (cena výrobce pro rok 2010).

Investice do připojení kogenerační jednotky: zpravidla 30 % z investice do kogenerační jednotky:

$$I_p = I_{KJ} * 0,3 = 21\,850\,000 * 0,3 = 6\,555\,000 \text{ Kč}$$

Investice celkem:

$$I_c = I_{KJ} + I_p = 21\,850\,000 + 6\,555\,000 = 28\,405\,000 \text{ Kč}$$

Výrobní ceny energií při ceně zemního plynu:

762 Kč / MWh – průměrná cena v České Republice v roce 2010

Cena zemního plynu v Kč / kWh:

$$C_{ZP} = \frac{762}{1000} = 0,76 \text{ Kč/kWh}$$

Cena zemního plynu v Kč / m³:

$$C_{ZP\,m3} = C_{ZP} * k_{ZP} = 0,76 * 10,5 = 8 \text{ Kč/m}^3$$

Z dokumentace kogenerační jednotky se určí:

Spotřeba zemního plynu kogenerační jednotky QD 2000 při 100 % výkonu za hodinu:

$$- S_{ZP} = 499 \text{ m}^3 / \text{hod}$$

Elektrický výkon: 2014 kW

Tepelný výkon: 2024 kW

Vyrobené teplo v GJ:

$$Q = P_{tep} * 0,0036 = 2024 * 0,0036 = 7,286 \text{ GJ}$$

Cena servisu kogenerační jednotky – odhad v Kč / kWh:

- většinou se uvádí 0,35 až 0,45 Kč / kWh

- my budeme počítat s průměrnou hodnotou $C_{servisu} = 0,40$ Kč / kWh

Náklady na palivo za 1 hodinu:

$$N_p = C_{ZP\,m3} * S_{ZP} = 8,00 * 499 = 3992,50 \text{ Kč/hod}$$

Náklady na servis za 1 hodinu:

$$N_s = P_{EL} * C_{servisu} = 2014 * 0,40 = 805,60 \text{ Kč/hod}$$

Celkové náklady na 1 hodinu provozu:

$$N_c = N_p + N_s = 3992,50 + 805,60 = 4798,10 \text{ Kč/hod}$$

Náklady na 1 kWh bez využití tepla:

$$N_{kWh} = \frac{N_c}{P_{EL}} = \frac{4798,10}{2014} = 2,38 \text{ Kč/kWh}$$

Cena 1 GJ tepla z paliva:

$$N_{GJ} = \frac{1000}{34} * \frac{C_{ZP} m3}{\epsilon} = \frac{1000}{34} * \frac{8}{0,9} = 261,47 \text{ Kč/GJ}$$

Cena vyrobeného tepla:

$$N_Q = N_{GJ} * Q = 261,47 * 7,286 = 1905,18 \text{ Kč}$$

Náklady na 1 kWh s využitím tepla:

$$N_{kWh+Q} = \frac{N_c - N_Q}{P_{EL}} = \frac{4798,10 - 1905,18}{2014} = 1,44 \text{ Kč/kWh}$$

Výkupní cena silové elektrické energie:

- $C_{sil.el.} = 0,98 \text{ Kč / kWh}$ (může být i vyšší, záleží po domluvě s obchodníkem s elektrickou energií)

Výrobní cena elektrické energie z kogenerační jednotky s využitím tepla = N_{kWh+Q} :

- $N_{kWh+Q} = 1,44 \text{ Kč / kWh}$

Příspěvek KVET (ČR ERU č. 4/2009) do 5 MW:

- $C_{KVET} = 1,01 \text{ Kč / kWh}$

Příspěvek od distribuční soustavy za necentrální výrobu (ČR ERU č. 7/2009) NN:

- $C_{DS} = 0,064 \text{ Kč / kWh}$

Úspora nákladů na 1 kWh:

$$\begin{aligned} Z_{kWh} &= C_{sil.el} + C_{KVE} + C_{DS} - N_{kWh+Q} = \\ &= 0,98 + 1,01 + 0,064 - 1,44 = 0,61 \text{ Kč/kWh} \end{aligned}$$

Denní provoz KJ: 12 hodin

Roční provoz KJ: 350 dnů

Počet provozních hodin kogenerační jednotky za rok – motohodiny Mth:

$$Mth = 12 * 350 = 4200 \text{ hod/rok}$$

Vyrobená elektrická energie z kogenerační jednotky za rok:

$$W_{rok} = P_{EL} * Mth = 2014 * 4200 = 8\,458\,800 \text{ kWh/rok}$$

Spotřeba zemního plynu za rok:

$$S_{ZProk} = S_{ZP} * Mth = 499 * 4200 = 2\,095\,800 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Produkce tepla za rok v GJ:

$$Q_{rok} = Q * Mth = 7,286 * 4200 = 30603 \text{ GJ}$$

Roční úspora v Kč:

$$Z_{rok} = Z_{kWh} * W_{rok} = 0,61 * 8\,458\,800 = 5\,181\,818 \text{ Kč}$$

Prostá návratnost vložených investic:

$$N = \frac{I_c}{Z_{rok}} = \frac{28\,405\,000}{5\,181\,818} = 5,48 \text{ roků}$$

Závěr

Touto diplomovou prací chci budoucí potencionální investory seznámit s problematikou kogenerace. V teoretických kapitolách jsem popsal a vysvětlil, co znamená pojem kogenerace. Zásadním přínosem je vyšší účinnost procesu kombinované výroby elektrické energie a tepla oproti oddělené výrobě elektrické energie v elektrárnách a tepla ve výtopnách, což vede k nižší spotřebě paliva, nižšímu čerpání neobnovitelných zdrojů energie a nižším emisím znečišťujících látek ze spalování paliva do ovzduší na regionální i globální úrovni.

Rozdělil jsem jednotlivé druhy kogenerace a vysvětlil princip jednotlivých kogeneračních zdrojů. Blíže jsem specifikoval kogenerační jednotky se spalovacími motory, u kterých je nejpoužívanějším palivem zemní plyn. Na základě druhu provozu kogenerační jednotky jsem naznačil možné způsoby připojení na distribuční síť. Popsal jsem různé vlivy na síť, které jsou způsobeny připojením kogenerační jednotky do sítě, a charakterizoval základní elektrické ochrany, kterými je jednotka chráněna.

Abych mohl kogenerační jednotku do sítě připojit, musím splnit všechny náležité legislativní podmínky, které jsem v této práci také uvedl. K zajištění trvalého a co možná bezporuchového provozu kogenerační jednotky, musím dodržet servisní intervaly údržby s danými činnostmi, které jsem pro názornost rozdělil zvlášť pro plynový motor a kontejner (popřípadě kapotové provedení). Metodikou pro optimální výběr jednotky podle typu odběratele jsem se snažil popsat a navrhnout nejlepší variantu a druh kogenerační jednotky do daného prostředí či daného zákazníka. Do výkonu cca 5 MW je vhodné dát přednost kogenerační jednotce s plynovým spalovacím motorem. Nejdůležitějšími faktory pro výběr jednotky jsem analyzoval denní a roční diagram odběru elektrické energie a tepla, druh požadovaného teplotního media a dostupnost jednotlivých paliv.

V poslední kapitole této práce jsem vypočítal prostou návratnost vložených investic. Návratnost jsem počítal pro kogenerační jednotku využívající spalovací plynový motor, palivem je zemní plyn a jednotka je v provozu 12 hodin denně podle požadavků distribuční soustavy, zpravidla v době vysokého tarifu (např. od 8:00 do 20:00). Návratnost vložených prostředků mi vyšla na 5,5 roků, což je určitě velmi zajímavé časové období návratnosti investic pro investora do kombinované výroby elektrické energie a tepla pomocí kogenerační jednotky.

Vypočtenou návratnost jsem zjednodušil, uvažoval jsem se 100 % využitím elektrické energie a tepla. V praxi by mi tato návratnost vyšla o něco delší, musel bych počítat s inflací, růstem ceny paliva, nákladů na servis, neočekávaných poruch, ale také s možností změn cen výkupů elektrické energie, které jsou stanoveny Energetickým regulačním úřadem. Pokud bych nevyužíval 100 % tepla a část produkce tepla bych např. v přechodném období odváděl do atmosféry pomocí nouzového chladiče, návratnost by byla také delší. Pokud nevyužívám 100 % produkovaného tepla, pak už se nejedná o vysoce účinnou kogeneraci se všemi danými výhodami.

Použitá literatura a odkazy:

- [1] ČEA: Návrh a provoz kogeneračních jednotek, RAEN, spol. s r.o.
- [2] ČEA: Příručka pro regionální využití kogeneračních zdrojů, RAEN, spol. s r.o.
- [3] ČEA: Spalování bioodpadů s použitím fermentačního reaktoru a kogenerační jednotky, RAEN, spol. s r.o.
- [4] ČEA: Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek využitím doprovodných technologií pro zrovnoměnění ročního odběru tepla, Trnobranský K.
- [5] ČEA: Energetický audit komplexů s plynovou kogenerační jednotkou, RAEN, spol. s r.o.
- [6] Firemní prospekty a dokumentace firmy Tedom s.r.o.

- [7] www.tedom.cz – internetové stránky firmy Tedom s.r.o.
- [8] www.i-ekis.cz - internetové energetické konzultační a informační středisko
- [9] www.cogen.cz – internetové stránky zástupce výrobců a provozovatelů zdrojů KVET
- [10] www.eru.cz – internetové stránky Energetického regulačního úřadu